



**TUGAS AKHIR SM-141501**

**PREDIKSI PRODUKSI KAYU BUNDAR KABUPATEN  
MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE MARKOV  
CHAINS**

**IKHTIYARI NAVILA RIZANTI  
NRP 1213 100 112**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Soehardjoepri, M.Si**

**Departemen Matematika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**





**FINAL PROJECT SM-141501**

***PREDICTION OF ROUND WOODEN PRODUCTION IN  
MALANG DISTRICT USING MARKOV CHAINS  
METHOD***

**IKHTIYARI NAVILA RIZANTI  
NRP 1213100 112**

**Supervisor  
Drs. Soehardjoepri, M.Si**

**Department of Mathematics  
Faculty of Mathematics and Science  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**



# LEMBAR PENGESAHAN

## PREDIKSI PRODUKSI KAYU BUNDAR KABUPATEN MALANG DENGAN MENGUNAKAN *MARKOV CHAINS*

### *PREDICTION OF ROUND WOODEN PRODUCTION IN MALANG DISTRICT USING MARKOV CHAINS METHOD*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
pada

Bidang Studi Matematika Terapan  
Program Studi S-1 Departemen Matematika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**IKHTIYARI NAVILA RIZANTI**

**NRP. 1213 100 112**


Menyetujui,

Dosen Pembimbing

  
**Drs. Soehardjoepri, M.Si**

**NIP. 19620504 198701 1 001**

Mengetahui,

  
**Kepala Departemen Matematika  
PMIPA ITS**

**Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT**

**NIP. 19700831 199403 1 003**

Surabaya, Juli 2017



**PREDIKSI PRODUKSI KAYU BUNDAR KABUPATEN  
MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
MARKOV CHAINS**

**Nama** : Ikhtiyari Navila Rizanti  
**NRP** : 1213 100 112  
**Departemen** : Matematika FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Drs. Soehardjoepri, M.Si

**ABSTRAK**

Kayu bundar banyak ditemukan sebagai bahan dasar dalam pembuatan *furniture* misalnya meja, kursi, garasi, dan sebagainya. Produksi kayu bundar diperlukan suatu model matematika untuk menghitung prediksi pada periode yang akan mendatang untuk mempermudah pemerintah dan perusahaan kayu dalam mengambil setiap kebijakannya terkait manajemen hasil produksi kayu bundar. Metode *Markov Chains* dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk memprediksikan hasil produksi kayu bundar di Kabupaten Malang beberapa periode kedepan dengan menggunakan data-data yang sudah ada. Data-data yang digunakan adalah data hasil produksi kayu yang tercatat oleh Perum Perhutani Divisi Regional Jawa Timur pada Januari 2010 sampai dengan Mei 2017. Dalam hal ini, produksi kayu bundar di Kabupaten Malang akan mengambil 4 sampel pohon yang menghasilkan kayu rimba yaitu Pinus, Mahoni, Sengon, dan Damar. Dari simulasi didapat prediksi beberapa periode kedepan dengan menggunakan pembagian 3 *state*, 4 *state*, dan 5 *state*, dan juga mendapatkan peluang dari periode seberapa mengalami *steady state* dari 4 sampel kayu dari pohon rimba diatas. Pembagi 3 *state* yang paling cocok digunakan untuk keempat jenis kayu, karena memiliki kesesuaian hasil prediksi dengan data aktual yang cukup tinggi.

**Kata Kunci** : Hutan Produksi, Kayu Bundar, *Markov Chains*, Prediksi.





## ***PREDICTION OF ROUND WOODEN PRODUCTION IN MALANG DISTRICT USING MARKOV CHAINS METHOD***

**Name** : Ikhtiyari Navila Rizanti  
**NRP** : 1213 100 112  
**Department** : Mathematics FMIPA-ITS  
**Supervisor** : Drs. Soehardjoepri, M.Si

### ***ABSTRACT***

*Round wood is found as a basic material in the manufacture of furniture such as tables, chairs, garages, and so forth. The production of round wood required a mathematical model to calculate predictions over the coming period to make it easier for the government and timber companies to adopt any policies related to the management of round wood products. Markov Chains method can be used as one method to predict the production of round wood in Malang district some future period by using existing data. The data used are data of timber production recorded by Perum Perhutani East Java Regional Division in January 2010 until May 2017. In this case, the production of round wood in Malang district will take 4 samples of trees that meghasilkan wood of Pinus, Mahoni , Sengon, and Damar. From the simulation, there are predictions for several future periods by using 3 state, 4 state, and 5 state divisions, and also get chance from the steady state period of 4 wood samples from the above jungle trees. The 3 state divider is best suited for wood species, because it has a predictability of predicted results with actual data high enough.*

**Keywords** : *Production Forest, Round Wood, Markov Chains, Prediction.*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil ‘aalamiin. Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Prediksi Produksi Kayu Bundar Kabupaten Malang dengan menggunakan Metode *Markov Chains*”**. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT selaku Ketua Departemen Matematika FMIPA ITS.
2. Bapak Drs. SoehardjoePRI, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas segala waktu, bimbingan, dan semangat yang diberikan kepada penulis.
3. Bapak Drs. Mohammad Setijo Winarko, M.Si, Bapak Drs. Iis Herisman, M.Sc, dan Ibu Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes telah memberikan banyak saran, kritik, dan motivasi demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si, M.Si selaku Kaprodi S1 Departemen Matematika FMIPA ITS.
5. Bapak Drs. Iis Herisman, M.Sc selaku Sekprodi S1 Departemen Matematika atas bantuan dan semua informasi yang diberikan.
6. Bapak Dr. Darmaji, S.Si, MT sebagai dosen wali dan semua dosen dan staff Matematika atas bimbingan dan semua informasi selama penulis kuliah di Departemen Matematika FMIPA-ITS.
7. Ibu Yuli yang membantu perijinan penelitian, Bapak Padil selaku Kasi PSDH KPH Malang, Bapak Johan, Bapak Puguh dan pihak yang terlibat dalam membimbing saya saat pencarian data di Perum Perhutani Divisi Regional Jawa Timur pada satuan kerja KPH Malang.

8. Teman-teman angkatan 2013 yang telah memberikan pengalaman dan kenangan selama menempuh proses perkuliahan.
9. Ayah, Mama tercinta, beserta keluarga besar yang tak henti-hentinya memberikan dukungan, semangat, motivasi, dan doa kepada penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Semua pihak yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu, telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis sangat berharap hasil Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, serta kritik dan saran yang bersifat membangun guna perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Juli 2017

**Penulis**

## DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	7
2.2 Hutan .....	8
2.2.1 Hutan Produksi .....	8
2.2.2 Hasil dari Hutan Produksi .....	9
2.3 Proses Stokastik.....	10
2.4 <i>Markov Chains</i> .....	10
2.4.1 Matriks Probabilitas Transisi.....	12
2.4.2 <i>Transient Behaviour of Discrete-Time</i> <i>Markov Chain...</i> .....	14
2.4.3 Persamaan Steady State.....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Pengumpulan Data.....	17
3.2 Aplikasi dan Sifat-Sifat Rantai Markov.....	17
3.3 Simulasi .....	19
3.4 Analisis Hasil Simulasi .....	19
3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran serta Penyusunan Laporan.....	19

<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pembagian 3 State .....	21
4.1.1 Prediksi Kayu Pinus .....	21
4.1.2 Prediksi Kayu Mahoni .....	26
4.1.3 Prediksi Kayu Sengon .....	29
4.1.4 Prediksi Kayu Damar .....	32
4.2 Pembagian 4 State .....	35
4.2.1 Prediksi Kayu Pinus .....	36
4.2.2 Prediksi Kayu Mahoni .....	39
4.2.3 Prediksi Kayu Sengon .....	43
4.2.4 Prediksi Kayu Damar .....	44
4.2 Pembagian 5 State .....	47
4.2.1 Prediksi Kayu Pinus .....	48
4.2.2 Prediksi Kayu Mahoni .....	52
4.2.3 Prediksi Kayu Sengon .....	56
4.2.4 Prediksi Kayu Damar .....	57
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	63
<b>LAMPIRAN</b> .....	65
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	93

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
<b>Gambar 2.1</b> Peristiwa dalam Rantai Markov .....	11
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	18
<b>Gambar 4.1</b> Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian 3 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya.....	24
<b>Gambar 4.2</b> Kurva Produksi Kayu Mahoni pada Pembagian 3 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	27
<b>Gambar 4.3</b> Kurva Produksi Kayu Sengon pada Pembagian 3 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	31
<b>Gambar 4.4</b> Kurva Produksi Kayu Damar pada Pembagian 3 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	34
<b>Gambar 4.5</b> Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian 4 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya.....	38
<b>Gambar 4.6</b> Kurva Produksi Kayu Mahoni pada Pembagian 4 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	41
<b>Gambar 4.7</b> Kurva Produksi Kayu Damar pada Pembagian 4 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	46
<b>Gambar 4.8</b> Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian 5 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	50
<b>Gambar 4.9</b> Kurva Produksi Kayu Mahoni pada Pembagian 5 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	54
<b>Gambar 4.10</b> Kurva Produksi Kayu Damar pada Pembagian 5 <i>State</i> untuk 4 Periode Berikutnya .....	59





## DAFTAR TABEL

	Hal
<b>Tabel 4.1</b>	Pembagian 3 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Pinus.... 22
<b>Tabel 4.2</b>	Probabilitas Transisi 3 <i>State</i> Kayu Pinus..... 22
<b>Tabel 4.3</b>	Nilai Prediksi Kayu Pinus Pembagi 3 <i>State</i> ..... 25
<b>Tabel 4.4</b>	Pembagian 3 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Mahoni 26
<b>Tabel 4.5</b>	Probabilitas Transisi 3 <i>State</i> Kayu Mahoni ..... 26
<b>Tabel 4.6</b>	Nilai Prediksi Kayu Mahoni Pembagi 3 <i>State</i> .. ..... 29
<b>Tabel 4.7</b>	Pembagian 3 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Sengon. 29
<b>Tabel 4.8</b>	Probabilitas Transisi 3 <i>State</i> Kayu Sengon..... 30
<b>Tabel 4.9</b>	Nilai Prediksi Kayu Sengon Pembagi 3 <i>State</i> ..... 32
<b>Tabel 4.10</b>	Pembagian 3 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Damar.. 33
<b>Tabel 4.11</b>	Probabilitas Transisi 3 <i>State</i> Kayu Damar..... 33
<b>Tabel 4.12</b>	Nilai Prediksi Kayu Damar Pembagi 3 <i>State</i> ..... 35
<b>Tabel 4.13</b>	Pembagian 4 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Pinus.... 36
<b>Tabel 4.14</b>	Probabilitas Transisi 4 <i>State</i> Kayu Pinus..... 37
<b>Tabel 4.15</b>	Nilai Prediksi Kayu Pinus Pembagi 4 <i>State</i> ..... 39
<b>Tabel 4.16</b>	Pembagian 4 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Mahoni 40
<b>Tabel 4.17</b>	Probabilitas Transisi 4 <i>State</i> Kayu Mahoni ..... 40
<b>Tabel 4.18</b>	Nilai Prediksi Kayu Mahoni Pembagi 4 <i>State</i> .. ..... 43
<b>Tabel 4.19</b>	Pembagian 4 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Sengon. 43
<b>Tabel 4.20</b>	Probabilitas Transisi 4 <i>State</i> Kayu Sengon..... 44
<b>Tabel 4.21</b>	Pembagian 4 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Damar.. 44
<b>Tabel 4.22</b>	Probabilitas Transisi 4 <i>State</i> Kayu Damar..... 45
<b>Tabel 4.23</b>	Nilai Prediksi Kayu Damar Pembagi 4 <i>State</i> ..... 47
<b>Tabel 4.24</b>	Pembagian 5 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Pinus.... 48
<b>Tabel 4.25</b>	Probabilitas Transisi 5 <i>State</i> Kayu Pinus..... 49
<b>Tabel 4.26</b>	Nilai Prediksi Kayu Pinus Pembagi 5 <i>State</i> ..... 51
<b>Tabel 4.27</b>	Pembagian 5 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Mahoni 52
<b>Tabel 4.28</b>	Probabilitas Transisi 5 <i>State</i> Kayu Mahoni ..... 53
<b>Tabel 4.29</b>	Nilai Prediksi Kayu Mahoni Pembagi 5 <i>State</i> .. ..... 56
<b>Tabel 4.30</b>	Pembagian 5 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Sengon. 56
<b>Tabel 4.31</b>	Pembagian 5 <i>State</i> dan Probabilitas Kayu Damar.. 57
<b>Tabel 4.32</b>	Probabilitas Transisi 5 <i>State</i> Kayu Damar..... 58
<b>Tabel 4.33</b>	Nilai Prediksi Kayu Damar Pembagi 5 <i>State</i> ..... 60



## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
<b>Lampiran A</b> Data Produksi Kayu.....	67
<b>Lampiran B</b> <i>Source Code</i> Matlab.....	74
<b>Lampiran C</b> Matriks Probabilitas Transisi n-Langkah.. ..	89



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini.

### **1.1 Latar Belakang**

Hutan merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Pengelolaan hutan pula merupakan sebuah usaha yang dilakukan untuk memperoleh manfaat dari adanya hutan tanpa mengabaikan dari sisi kelestariannya. Kelestarian dalam pengelolaan hutan dapat terwujud apabila hutan dikelola dengan memperhatikan aspek ekonomi, sosial, dan juga ekologi hutan. Sehingga yang diperoleh dari kelestarian hutan adalah tersedianya hasil hutan yang berkelanjutan yang dapat dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan.

Indonesia memiliki berbagai macam kayu yang sebagian besar digunakan dalam bidang pembangunan. Dimana Indonesia adalah negara yang dapat dikatakan memiliki pengelolaan hutan yang berskala besar. Salah satu yang dihasilkan oleh pengelolaan hutan produksi adalah kayu. Kayu berperan penting, yaitu sebagai bahan dasar dalam pembuatan rumah, dan kerajinan ukir kayu juga banyak yang dihasilkan oleh masyarakat Indonesia. Tercatat Indonesia berada di urutan ke-9 negara yang memiliki hutan terluas di dunia, dengan luas hutan mencapai 884.950 km<sup>2</sup> [1]. Dimana kayu di Indonesia dapat tumbuh baik karena daerah yang beriklim tropis dan tanahnya sangat mendukung.

Salah satu produksi hutan yang dikelola oleh BUMN (Badan Usaha Milik Negara) adalah kayu bundar. Kayu bundar merupakan kayu yang berbentuk bundar atau kayu yang berupa glondongan. Kayu ini banyak digunakan sebagai *furniture* misalnya pagar rumah, garasi mobil, kursi dan sebagainya. Kayu bundar biasanya memiliki cara pengukuran yang berbeda-beda. Dimana jenis-jenis kayu bundar dapat dibedakan menjadi 2 macam menurut pemasaran yang melalui KBM (Kesatuan Bisnis Mandiri) pemasaran kayu yaitu Kayu Jati dan Kayu Rimba. Kayu

Jati adalah kayu yang dihasilkan dari pohon jati yang memiliki karakter keras dan arah pertumbuhannya lurus. Sedangkan Kayu Rimba adalah produk kayu yang dihasilkan selain dari kayu jati, misalnya jenis kayu Mahoni, Pinus, Damar, dan Sengon.

Perusahaan pengelola hutan BUMN yang ada di Indonesia adalah Perum Perhutani yang berada di Pulau Jawa. Saat ini kawasan yang dikelola oleh Perum Perhutani seluas 2.446.907,27 Ha dimana terdiri dari Hutan Produksi (HP) dan hutan lindung. Dan hutan yang dikelola Perhutani tidak termasuk kawasan hutan suaka alam dan hutan wisata. Dengan memiliki 3 divisi wilayah kerja yaitu Regional Jawa Barat dan Banten, Regional Jawa Tengah, dan Regional Jawa Timur. Jawa Timur merupakan divisi regional terluas kawasan hutannya, dengan luas 1.133.836,39 Ha[2].

Kabupaten Malang memiliki 23 pantai sehingga dapat dikatakan Kabupaten Malang memiliki banyak hutan pula yang dikelola oleh pemerintah karena hutan berfungsi untuk mencegah erosi dan abrasi pantai. Erosi adalah pengikisan permukaan tanah oleh aliran sungai sedangkan abrasi merupakan pengikisan permukaan tanah yang diakibatkan oleh hempasan ombak laut. Hutan juga sebagai penyedia oksigen bagi lingkungan sekitarnya, dimana udara yang semakin kotor dengan keberadaan polusi udara semakin tinggi dengan begitu hutan dapat menyeimbangkan kondisi udara dilingkungan sekitar. Dimana total luas lahan hutan produksi yang dikelola oleh Pemkab Malang seluas 44.180 Ha [3]. Hutan produksi memberikan kontribusi yakni berupa produksi kayu sebesar  $\pm 20.000 \text{ m}^3/\text{tahun}$  dan getah pohon sebesar  $\pm 1.500 \text{ ton/tahun}$ . Hasil dari produksi hutan di wilayah Malang ini sebagai sumber pendapatan Kabupaten Malang sebagai dana bagi hasil sumberdaya alam dalam bentuk Provisi Sumberdaya Hutan (PSDH)[4].

Jumlah kayu milik Indonesia yang telah diekspor mengalami naik turun ke berbagai daerah atau negara tujuan, tercatat oleh Badan Pusat Statistik pada tahun 2000 hingga 2015 [5]. Salah satu faktor yang menyebabkan naik turunnya jumlah ekspor kayu adalah hasil produksi kayu. Karena adanya fluktuasi pada jumlah kayu yang diekspor, maka dibutuhkan prediksi untuk menghitung

hasil kayu yang dapat diproduksi di tahun mendatang. Prediksi yang dilakukan untuk mempermudah pemerintah maupun perusahaan kayu untuk mengambil kebijakan dalam manajemen produksi kayu bundar. Sehingga diperlukan suatu model matematika untuk memprediksi hasil produksi kayu untuk beberapa tahun kedepan. Karena Malang adalah salah satu kabupaten yang memiliki luas hutan terbesar yang ada di regional Jawa Timur, maka perlu memprediksi hasil produksi kayu di Kabupaten Malang menggunakan model matematika tersebut.

Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk prediksi dalam berbagai bidang dengan menggunakan metode *Markov Chains*, salah satunya adalah prediksi pada tanaman palawija di Kabupaten Indragiri Hilir. Akan tetapi belum ada penelitian mengenai prediksi produksi kayu, sehingga dengan adanya penelitian terdahulu yang menggunakan metode *Markov Chains* dapat dijadikan acuan untuk penelitian pada produksi kayu. Metode *Markov Chains* dapat digunakan untuk membantu dalam memperkirakan perubahan yang mungkin terjadi pada waktu yang akan mendatang dengan menggunakan variabel-variabel dinamis pada waktu yang lalu.

Prediksi produksi kayu bundar di Kabupaten Malang dengan menggunakan metode *Markov Chains* dibutuhkan untuk mempermudah pemerintah mengambil keputusan dalam hal manajemen produksi kayu bundar misalnya dalam hal memperbaiki sistem penanaman atau yang lainnya. Jenis kayu bundar yang akan dijadikan sampel yaitu kayu rimba berupa Pinus, Mahoni, Sengon, dan Damar. Kayu rimba dikenal memiliki kualitas yang bagus untuk digunakan sebagai mebel dan juga bahan bangunan. Tugas akhir ini akan melakukan prediksi hasil produksi kayu bundar, terutama kayu rimba dengan menggunakan metode *Markov Chains* di Kabupaten Malang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana cara memprediksikan produksi kayu bundar di Kabupaten Malang dengan menggunakan metode *Markov Chains*.

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam Tugas Akhir ini, yang akan dibahas adalah prediksi produksi kayu rakyat dengan menentukan batasan-batasan permasalahan sebagai berikut :

1. Objek dalam penelitian tugas akhir ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Perum Perhutani Divisi Regional Jawa Timur di KPH Malang dengan produksi kayu bundar mulai Januari 2010 hingga Mei 2017
2. Sampel Jenis Pohon yang digunakan merupakan kayu bundar jenis rimba, yaitu Pinus, Mahoni, Sengon, dan Damar
3. Sampel daerah yang diambil adalah hutan BUMN Kabupaten Malang
4. Penentuan prediksi resiko kayu bundar dalam penelitian ini hanya mempertimbangkan data historis hasil produksi sebelumnya, tidak mempertimbangkan faktor lain, seperti curah hujan, laju inflasi, dan sebagainya.

### **1.4 Tujuan**

Berdasarkan rumusan permasalahan, maka tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan solusi dari permasalahan yang ada. Oleh karena itu, tujuan yang di ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah memprediksi hasil produksi kayu bundar di Kabupaten Malang pada setiap periodenya menggunakan metode *Markov Chains*.

### **1.5 Manfaat**

Tugas Akhir ini diharap memberikan beberapa manfaat dalam memprediksi produksi kayu bundar sebagai berikut :

1. Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah (perhutani) dalam mengambil kebijakan terkait manajemen hasil produksi kayu bundar
2. Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi para perusahaan pengolah kayu dalam mengambil kebijakan terkait produksi kayu bundar.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan Tugas Akhir ini disusun dalam lima bab sebagai berikut:

**BAB I PENDAHULUAN**



Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan pada Tugas Akhir.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Menjelaskan dasar teori yang digunakan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir. Pada bab ini berisi tentang penelitian tedahulu, hutan produksi, hasil hutan produksi, prediksi, serta analisa matriks transisi.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan alur kerja dan metode yang digunakan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir. Gambaran umum mengenai pembentukan model *Markov Chains* dalam memprediksi produksi kayu.

## **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan tentang analisa data dan pembahasan secara keseluruhan dalam, penentuan hasil prediksi pada produksi kayu rimba.

## **BAB V PENUTUP**

Berisi hasil dari analisis dalam Tugas Akhir.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini menjelaskan dasar teori yang digunakan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir. Pada bab ini berisi tentang penelitian tedahulu, hutan produksi, hasil hutan produksi, prediksi, serta analisa matriks transisi.

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

Salah satu jurnal ilmiah yang membahas tentang konsep *Markov Chains* untuk menyelesaikan prediksi bencana alam di wilayah Indonesia dengan studi kasus Kotamadya Jakarta Utara. Dalam konsep *Markov Chains*, untuk menghasilkan sebuah prediksi bencana alam dengan menggunakan data-data yang sudah ada. Dengan data-data tersebut diolah menggunakan konsep *Markov Chains* dari bencana-bencana yang terjadi beberapa tahun sebelumnya. Maka dengan adanya prediksi tersebut, pemerintah dan masyarakat dapat mencegah bencana yang akan terjadi, atau apabila tidak dapat dicegah maka dapat mempersiapkan agar dapat meminimalkan korban nyata atau harta.

Sama halnya pada penelitian sebelumnya dilakukan yaitu untuk prediksi hasil tanaman palawija. Prediksi yang dilakukan, akan menggunakan data hasil tanaman palawija dari Dinas Perkebunan dan Pertanian Kabupaten Indragiri Hilir. Pada penelitian ini akan menjelaskan bagaimana memanfaatkan data yang telah ada sebagai prediksi beberapa tahun kedepan dengan hasil tanaman palawija yang akan dikembangkan masyarakat Kabupaten Indragiri Hilir dalam pembangunan tanaman palawija kedepannya. Metode *Markov Chains* mampu memberikan solusi untuk melakukan prediksi untuk penggunaan hasil data beberapa tahun kedepan. Tanaman palawija yang digunakan sebagai sampel adalah Jagung, Kedelai, Ubi Jalar, dan Kacang Tanah. Sistem prediksi yang akan dikembangkan adalah hasil tanaman palawija berdasarkan hasil panen untuk 4 tahun kedepan. Sehingga model sistem perhitungan prediksi dengan menggunakan Model *Markov Chains*[6].

## **2.2 Hutan**

Pengertian hutan sebagaimana di jelaskan dalam Undang-undang No.41 tahun 1999 tentang kehutanan adalah: “Suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan”[11].

### **2.2.1 Hutan Produksi**

Hutan produksi menurut Undang-undang No.41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan, hutan produksi adalah kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok memproduksi hasil hutan. Pengelolaan hutan produksi yang berada di area hutan negara, di Pulau Jawa dikelola oleh Perum Perhutani perusahaan milik negara. Hasil hutannya dapat berupa kayu atau non kayu. Hutan produksi dibagi ke dalam 3 golongan yaitu [7]:

#### **1. Hutan Produksi Tetap (HP)**

HP adalah hutan yang bisa dieksploitasi hasil hutannya dengan cara tebang pilih maupun tebang habis. HP biasanya berupa kawasan hutan yang memiliki kelerengan landai, tanah yang rendah erosi dan memiliki curah hujan yang kecil. Faktor-faktor kelerengan, erosi dan curah hujan tersebut ditentukan dengan cara menghitung indeksnya berdasarkan metode skoring. Areal hutan yang ditetapkan sebagai HP harus memiliki skor dibawah 125, dan areal tersebut tidak termasuk ke dalam kawasan lindung.

#### **2. Hutan Produksi Terbatas (HPT)**

HPT merupakan hutan yang dialokasikan untuk dieksploitasi kayunya dalam intensitas rendah. Penebangan kayu masih bisa dilakukan dengan menggunakan metode tebang pilih. Hutan jenis ini umumnya berada di wilayah pegunungan yang memiliki lereng-lereng curam. Areal yang bisa ditetapkan sebagai HPT setidaknya memiliki skor 125-174, diluar kawasan lindung seperti hutan konservasi atau hutan lindung.

### 3. Hutan Produksi yang bisa dikonversi (HPK)

HPK yang bisa dikonversi adalah kawasan hutan yang dicadangkan untuk digunakan dalam pembangunan diluar kehutanan. Terdapat dua kondisi yang bisa dijadikan patokan untuk menetapkan jenis hutan ini. Pertama, hutan yang memiliki skor kelerengan, erosi dan curah hujan di bawah 124. Kedua, kawasan hutan yang dicadangkan untuk permukiman, transmigrasi, perkebunan dan pertanian. Dapat dilihat beberapa ciri-ciri Hutan produksi sebagai berikut[1]:

1. Diusahakan untuk kepentingan konsumtif, semisal Hutan Tanaman Industri (HTI) yang menanam pohon dan menebangnya untuk memproduksi berbagai jenis kertas.
2. Hutan Produksi cenderung hanya memiliki satu jenis tanaman, semisal pohon Karet, Akasia sebagai bahan dasar pembuatan kertas, dan jadi yang dimanfaatkan sebagai bahan furniture dan lainnya.
3. Hutan produksi tidak bisa dimiliki oleh individu atau perseorangan, biasanya hutan ini dimiliki perusahaan yang mengantongi izin HPH (Hak Pengusahaan Hutan) ataupun Pemerintah yang memanfaatkannya untuk produksi terbatas
4. Hutan Produksi dilakukan pengawasan ketat, baik perusahaan yang lakukan pengelolaan maupun pemerintah selaku pemberi izin pengelolaan.

#### 2.2.2 Hasil dari Hutan Produksi

Hutan produksi dapat menghasilkan beberapa produk misalnya kayu bundar dan kayu olahan, produk kimia hutan, ekoturisme, flora dan fauna, produk pangan dan kesehatan, dan lain sebagainya. Adapun beberapa kayu bundar dan kayu olahan dan diproduksi oleh Perhutani merupakan kayu-kayu yang berkualitas tinggi dan dipanen dari hutan yang dikelola dengan sistem berkelanjutan. Jenis kayu bundar yang dipasarkan adalah Jati, Pinus, Mahoni, Sonokeling, Damar, Akasia, Jabon, Sengon, dan jenis kayu lainnya. Perum Perhutani juga memproduksi barang jadi dengan melalui beberapa KBM industri kayu yang ada misalnya, *Garden Furniture*, *Housing Component*, *Indoor Furniture*, dan produk lainnya sesuai dengan pesanan.

### 2.3 Proses Stokastik

Suatu proses stokastik dapat didefinisikan sebagai kumpulan peubah acak yang berindex  $\{X_n\}$ , dimana index  $n$  bergerak sepanjang himpunan  $T$  yang diberikan. Dengan  $T$  merupakan himpunan bulat tak negatif dan  $X_n$  mewakili suatu karakteristik yang terukur pada waktu  $n$ . Jika  $T$  adalah himpunan yang dapat dihitung, maka proses stokastik tersebut dikatakan sebagai proses stokastik dengan waktu diskrit, misalnya  $\{X_n = 0, 1, \dots\}$ . Sedangkan jika  $T$  suatu interval pada garis real, maka proses stokastik tersebut dikatakan sebagai proses stokastik dengan waktu kontinu, misal  $\{X_n, n \geq 0\}$ . Secara ringkas proses stokastik merupakan serangkaian variabel random yang berubah terhadap waktu pengamatan.  $\{X_n, n \in T\}$ , dimana  $X_n$  state atau keadaan yang acak, dan  $t$  merupakan waktu saat pengamatan[15].

### 2.4 Markov Chains

Rantai markov merupakan suatu teknik probabilitas yang dapat menganalisis pergerakan dari satu kondisi ke kondisi lainnya. Teknik ini dapat digunakan juga untuk menganalisis kejadian-kejadian di waktu-waktu mendatang secara matematis. Nilai probabilitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$p_i = \frac{S_i}{n}, \text{ untuk } i = 0, 1, \dots, n \quad (2.1)$$

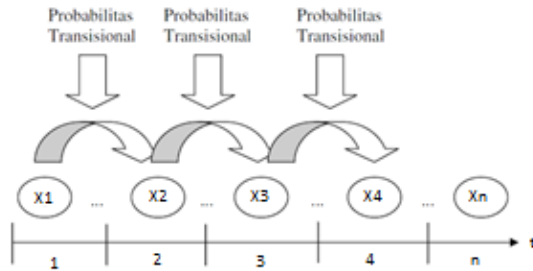
dengan :

$p_i$ : nilai probabilitas ke- $i$

$S_i$ : banyak data ke- $i$

$n$ : banyak data

Konsep dasar *Marcov Chains* pertama kali diperkenalkan oleh seorang matematisi Rusia Andrei A. Marcov pada tahun 1907. Untuk setiap waktu  $t$ , ketika kejadian merupakan  $X_i$ , dan seluruh kejadian-kejadian sebelumnya adalah  $X_1, \dots, X_{(n-1)}$  yang terjadi dari proses yang diketahui, probabilitas seluruh kejadian yang akan datang  $X_i$  bergantung pada kejadian  $X_{(i-1)}$ , dengan  $i = 0, 1, 2, \dots, n$  adalah waktu kejadian[1].



**Gambar 2.1** Peristiwa dalam Rantai Markov

Suatu proses stokastik  $\{X_n\}$  dikatakan memiliki sifat Markov jika :

$P\{X_{n+1} = j | X_n = i\} = P\{X_{n+1} = j | X_n = i, X_{n-1} = i_1, X_{n-2} = i_2, \dots, X_0 = i_n\}$  untuk  $n = 0, 1, \dots$  dan setiap deretan  $j, i, i_1, \dots, i_n$ . Maksud dari sifat Markov ini adalah probabilitas bersyarat dari kejadian di masa mendatang, jika diketahui kejadian dimasa lalu dan kejadian saat ini  $X_n = i$ , tidak bergantung pada masa lalu, dan hanya bergantung pada kejadian dari proses saat ini. Probabilitas bersyarat  $P\{X_{n+1} = j | X_n = i\} = p_{ij}$  disebut dengan probabilitas transisi satu tahap[16].

Jika untuk setiap  $i$  dan  $j$  dikatakan dengan stasioner jika  $P\{X_{n+1} = j | X_n = i\} = P\{X_1 = j | X_0 = i\}$  untuk semua  $n=0, 1, \dots$ , maka probabilitas transisi yang diulang tidak berubah setiap waktu. Seluruh nilai dapat dilambangkan dalam bentuk matriks  $\mathbf{P} = [p_{ij}]$  atau disebut dengan *one step transition probability*. Matriks  $\mathbf{P}$  mempunyai  $m + 1$  baris dan  $m + 1$  kolom dan  $0 \leq p_{ij} \leq 1$ , sedangkan  $\sum_{j=0}^m p_{ij} = 1$  untuk  $i = 0, 1, 2, \dots, m$ . Maka setiap elemen matriks  $\mathbf{P}$  adalah sebuah probabilitas, dan setiap baris matriks berjumlah satu[16]. Nilai probabilitas transisi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$p_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_i}, \quad (2.2)$$

dengan :

$p_{ij}$  : nilai probabilitas transisi dari  $i$  ke  $j$

$S_{ij}$  : banyak data transisi dari  $i$  ke  $j$

$S_i$  : banyak data pada keadaan ke- $i$

Hal ini dikarenakan jumlah dari nilai probabilitas transisi harus sama dengan satu.

Jika untuk setiap  $i$  dan  $j$  adalah  $P\{X_{n+1} = j | X_n = i\} = P\{X_n = j | X_0 = i\}$  untuk semua  $n=0,1,\dots$ , maka disebut dengan probabilitas transisi  $n$ -langkah dinotasikan dengan  $p_{i,j}^{(n)}$  [15].

Suatu proses stokastik  $\{X_n, n = 0,1, \dots\}$  dikatakan suatu rantai Markov jika memiliki sifat-sifat sebagai berikut [15] :

1. Memiliki jumlah *state* yang terbatas
2. Memiliki sifat Markov
3. Probabilitas transisinya stasioner
4. Memiliki himpunan probabilitas awal  $\{X_0 = i\}$

Ada beberapa syarat agar metode Markov dapat diaplikasikan dalam evaluasi keandalan sistem yaitu [9] :

1. Sistem harus *stationery* atau homogen, artinya perilaku sistem selalu sama disepanjang waktu atau peluang transisi sistem dari satu kondisi ke kondisi lainnya akan selalu sama disepanjang waktu. Dengan demikian maka pendekatan Markov hanya dapat diaplikasikan untuk sistem dengan laju kegagalan yang konstan.
2. *State is identifiable*. Kondisi yang dimungkinkan terjadi pada sistem harus dapat diidentifikasi dengan jelas. Apakah sistem memiliki dua kondisi (*state*) yakni kondisi beroperasi dan kondisi gagal, ataukah sistem memiliki 3 kondisi, yakni 100 persen sukses, 50 persen sukses dan 100 persen gagal.

#### 2.4.1 Matriks Probabilitas Transisi

Jika rantai Markov  $\{X_n, n = 0,1,2, \dots\}$  dengan ruang *state*  $\{0,1, \dots, N\}$ , maka peluang dari sistem itu dalam *state*  $i$  pada *state*  $j$  di pengamatan sebelumnya dilambangkan dengan  $p_{ij}$  dan disebut dengan peluang transisi dari *state*  $i$  ke *state*  $j$ , dengan elemen-elemen dari matriks  $\mathbf{P}$  bernilai positif dan jumlah dari elemen-elemen pada satu baris dalam matriks peluang transisinya harus sama dengan 1 [11].



$$\mathbf{P} = [p_{ij}]_{N \times N} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

Keadaan transisi merupakan perubahan dari suatu keadaan (*state*) ke *state* lainnya pada periode berikutnya, dimana pada keadaan transisi ini adalah suatu proses random dan dinyatakan dalam bentuk probabilitas. Bentuk probabilitas ini dinamakan dengan probabilitas transisi yang digunakan untuk menentukan probabilitas keadaan atau periode berikutnya.

**Teorema 2.1**(Sifat Matriks Probabilitas Transisi)

Diberikan  $\mathbf{P} = [p_{i,j}]$  menjadi probabilitas matriks transisi  $N \times N$  pada DTMC  $\{X_n, n \geq 0\}$  dengan *state space*  $S = \{1, 2, \dots, N\}$  maka[8] :

1.  $p_{ij} \geq 0, 1 \leq i, j \leq N$
2.  $\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1, 1 \leq i \leq N$  ■

**Teorema 2.2** (Matriks Probabilitas Transisi dengan *n-Step*)

$$\mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{P}^n,$$

dimana  $\mathbf{P}^n$  adalah pangkat ke-n dari matriks  $\mathbf{P}$ . ■

Dari matriks probabilitas transisi 1 langkah  $\mathbf{P}$  maka dapat dibentuk matriks probabilitas transisi n langkah sebagai berikut :

$$\mathbf{P}^{(n)} = [p_{ij}^{(n)}]_{N \times N} = \begin{bmatrix} p_{11}^{(n)} & p_{12}^{(n)} & \dots & p_{1N}^{(n)} \\ p_{21}^{(n)} & p_{22}^{(n)} & \dots & p_{2N}^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{N1}^{(n)} & p_{N2}^{(n)} & \dots & p_{NN}^{(n)} \end{bmatrix}$$

Pada Teorema 2.2  $\mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{P}^{(n-1)} * \mathbf{P} = \mathbf{P}^n$  , dengan mensubstitusikan  $n = 2$  didapat

$$\mathbf{P}^{(2)} = \mathbf{P}^{(1)} * \mathbf{P} = \mathbf{P} * \mathbf{P}$$

untuk  $n = 3$

$$\mathbf{P}^{(3)} = \mathbf{P}^{(2)} * \mathbf{P} = \mathbf{P} * \mathbf{P} * \mathbf{P}$$

dengan demikian  $\mathbf{P}^n$  merupakan pangkat ke-n dari matriks  $\mathbf{P}$  pada Teorema 2.2[8].

**Teorema 2.3** (Persamaan Chapman-Kolmogorov)

Probabilitas transisi  $n$ -step memenuhi persamaan berikut, disebut dengan persamaan Chapman-Kolmogorov [8] :

$$p_{i,j}^{(n+m)} = \sum_{k=1}^N p_{i,k}^{(n)} p_{k,j}^{(m)}$$

dari persamaan diatas dapat dinyatakan menjadi,

$$\mathbf{P}^{(n+m)} = \mathbf{P}^{(n)} * \mathbf{P}^{(m)}.$$

Matriks  $\mathbf{P}^{(n)}$  dan  $\mathbf{P}^{(m)}$  bersifat komutatif untuk semua  $n$  dan  $m$  sehingga diperoleh,

$$\mathbf{P}^{(n+m)} = \mathbf{P}^{(m)} * \mathbf{P}^{(n)}.$$

■

**2.4.2 Transient Behaviour of Discrete-Time Markov Chains**

Jika  $\mathbf{P}$  merupakan matriks probabilitas transisi dan  $\pi_0$  sebagai titik acuan atau kejadian awal, maka nilai  $\pi_m$  bisa didapat dengan rumus[9] :

$$\pi_m = \pi_0 \mathbf{P}^m \quad (2.3)$$

didapat dari,

$$\pi_m = \pi_{(m-1)} \mathbf{P}$$

$$\pi_{(m-1)} = \pi_{(m-2)} \mathbf{P} ; \pi_{(m-2)} = \pi_{(m-3)} \mathbf{P} ;$$

Selanjutnya substitusikan, sehingga diperoleh

$$\pi_m = \pi_{(m-1)} \mathbf{P}$$

$$\pi_m = [\pi_{(m-2)} \mathbf{P}] \mathbf{P}$$

$$\pi_m = \pi_{(m-2)} \mathbf{P}^2$$

$$\pi_m = [\pi_{(m-3)} \mathbf{P}] \mathbf{P}^2$$

$$\pi_m = \pi_{(m-3)} \mathbf{P}^3 \text{ dan seterusnya, maka berlaku untuk persamaan (2.3).}$$

**2.4.3 Persamaan Steady State**

*Steady state* merupakan keadaan peralihan di masa depan yang tidak bergantung pada keadaan awal. Keadaan ini adalah keadaan peralihan yang sudah mencapai keseimbangan sehingga tidak akan berubah terhadap perubahan waktu yang terjadi. Prinsip ini digunakan untuk mengamati berapa *state* untuk menuju titik seimbang. Selanjutnya didapat  $n$ -langkah yang akan menjadi

*steady state*[14]. Persamaan *steady state* biasa disebut dengan *limiting distribution*. Diberikan  $\{X_n, n \geq 0\}$  menjadi DTMC pada *state space*  $S = \{1, 2, \dots, N\}$  dengan matriks probabilitas transisi  $\mathbf{P}$ , dimana  $\rho$  memenuhi sebagai berikut[8]:

1.  $\rho_j = \sum_i \rho_i p_{ij}, j \in S$
2.  $\sum_j \rho_j = 1.$

dengan :

$\rho_j$  : nilai-nilai bebas terhadap  $i$  atau kondisi yang mantap

$p_{ij}$  : nilai probabilitas transisi dari  $i$  ke  $j$ .

Persamaan *steady state* atau persamaan seimbang dapat ditulis dengan  $\rho = \rho \mathbf{P}$  (2.4)



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini dijelaskan metode yang digunakan dalam Tugas Akhir agar proses pengerjaan dapat terstruktur dengan baik dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses pengerjaan terdiri dari sumber data, langkah-langkah aplikasi *Markov chains* dan sifat-sifatnya dan simulasi.

#### **3.1 Pengumpulan Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data bulanan produksi kayu bundar dari tahun 2010 sampai dengan Mei 2017, dimana data tersebut data setengah bulanan yang artinya setiap bulan dibagi menjadi dua priode yang pertama untuk tanggal 1 sampai dengan 15 dan kedua tanggal 16 sampai dengan 30 pada setiap bulannya yang diperoleh dari Perum Perhutani KPH Malang.

#### **3.2 Aplikasi Rantai Markov dan Sifat-Sifat Markov**

Terdapat beberapa tahapan dalam mengaplikasikan rantai Markov diantaranya sebagai berikut:

1. Membentuk interval dan *state*

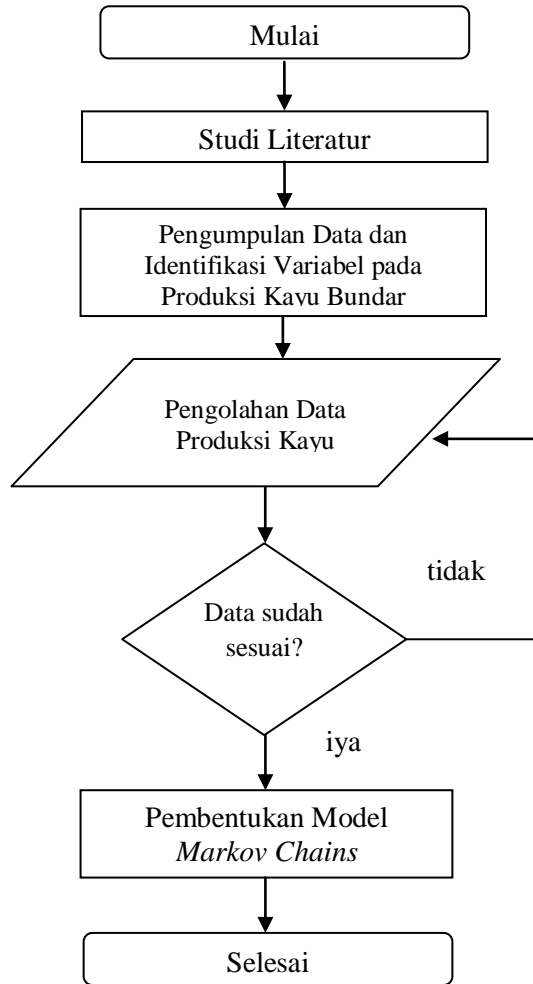
Pembentukan interval dilakukan dengan cara mencari nilai maksimum dan minimum dari data yang sudah dikumpulkan. Kemudian akan dicari selisih dari nilai maksimum dan minimum dan dibagi menjadi 3, 4, dan 5 interval. Dari interval yang sudah didapatkan dibentuk *state*.

2. Menentukan probabilitas *state* dan probabilitas transisi

Probabilitas *state* dihitung dengan pembagian banyak elemen masing-masing *state* terhadap banyaknya data yang dikumpulkan. Probabilitas transisi didapat dari perhitungan frekuensi transisi masing-masing data tiap priode ke dalam *state* yang sudah dibentuk.

3. Menulis *state* matriks probabilitas transisi dengan transfer *state*.

Gambar 3.1 dibawah ini merupakan diagram alir untuk menyelesaikan Tugas Akhir:



**Gambar 3.1** Diagram Alir

### **3.3 Simulasi**

Pada bagian ini akan dibuat simulasi dari matriks probabilitas transisi yang telah didapat dengan menggunakan *software* Matlab. Simulasi yang dilakukan untuk mendapatkan semua vektor *state* yang digunakan untuk memprediksi produksi kayu bundar dan juga digunakan untuk mendapatkan matriks probabilitas transisi *n*-langkah yang *steady state*.

### **3.4 Analisis Hasil Simulasi**

Pada bagian ini dilakukan analisis dari hasil simulasi yang telah dilakukan, yaitu menganalisis keakuratan hasil peramalan menggunakan rantai Markov dan kapan data produksi tersebut pada keadaan *steady state*. Dengan mengambil data sebenarnya satu tahun kemudian atau beberapa priode dari Perhutani KPH Malang, selanjutnya data yang sebenarnya akan dibandingkan dengan semua vektor *state* yang telah didapat sebelumnya. Jika hasil prediksi sama atau mendekati dengan nilai dari data yang sebenarnya, maka hasil prediksi akan semakin baik.

### **3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran serta Penyusunan Laporan**

Setelah mendapatkan hasil simulasi akan penarikan kesimpulan terhadap hasil analisis dan simulasi yang telah didapat dengan memberikan informasi yang dapat membantu dalam pembuatan keputusan.





## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan secara detail mengenai prediksi produksi kayu bundar pada Perhutani KPH Malang dengan menggunakan *Markov chains*. Penjelasan prediksi kayu bundar meliputi pembentukan interval dan *state*, penentuan probabilitas *state* dan probabilitas transisi *state*, pembentukan matriks probabilitas transisi, prediksi probabilitas *state* pada priode tahun berikutnya dan kapan terjadinya data mengalami *steady state* dengan menggunakan simulasi *software* Matlab, dan pada tahapan akhir dilakukan analisis dari hasil simulasi. Pembahasan diuraikan berdasarkan pembagain tiap *state*.

### 4.1 Pembagian 3 *State*

Pada subbab ini akan dilakukan langkah-langkah untuk menghitung prediksi masing-masing jenis kayu pembagi 3 *state* sebagai berikut : pembentukan interval, serta penentuan probabilitas *state*, pembentukan matriks probabilitas transisi, vektor probabilitas *state*, matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah, analisis hasil simulasi, dan validasi hasil prediksi.

#### 4.1.1 Prediksi Kayu Pinus

##### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pada bagian ini akan dibentuk interval dari data yang sudah ada dengan cara mencari  $X_i$  maksimum dan  $X_i$  minimum,  $X_i$  nilai data ke- $i$ , dengan  $X_i$  adalah produksi kayu bundar pada periode ke- $i$ . Setelah didapat  $X_i$  maksimum dan  $X_i$  minimum akan dicari selisih dari nilai keduanya kemudian dibagi kedalam 3 dan 5 *state*. Untuk pembagian *state* adalah  $S_i, i = 0, 1, 2, \dots, n$  dimana masing-masing *state* merupakan pembagian interval produksi kayu. Probabilitas *state* yaitu  $p_i, i = 0, 1, 2, \dots, n$ , yaitu probabilitas banyaknya kemunculan di data yang sudah ada pada 3 sampai dengan 5 *state*.

Pembentukan interval pertama yakni untuk kayu pohon pinus dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data jumlah produksi didapat 2015.28 sebagai

maksimal dan 0 minimal. Mencari selisih dari nilai maksimal dan minimal, kemudian dibagi 3 untuk mendapatkan interval pada tiap *state*. Data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 155 data,  $S_2$  sebanyak 16 data, dan untuk  $S_3$  sebanyak 3 data. Tabel 4.1 menjelaskan hasil pembagian 3 *state* dan nilai probabilitas diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.1** Pembagian 3 *State* dan Probabilitas Kayu Pinus

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 671.76$	$p_1 = 0.8908$
$S_2$	$[671.76, 1343.52)$	$p_2 = 0.0920$
$S_3$	$X \geq 1343.52$	$p_3 = 0.0172$

## 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Transisi  $S_i$  ke  $S_j$  dilambangkan dengan  $S_{ij}$  dengan  $i = 0, 1, 2, \dots, n$  dan  $j = 0, 1, 2, \dots, n$ . Nilai probabilitas transisi didapat dari persamaan (2.2). Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka banyak data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 154 data,  $S_2$  sebanyak 16 data, dan  $S_3$  sebanyak 3 data. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.2 dapat diperoleh matriks probabilitas transisi *state* yang berukuran  $3 \times 3$  untuk 3 *state* sebagai berikut :

$$P = \begin{pmatrix} 0.9545 & 0.0455 & 0 \\ 0.375 & 0.5000 & 0.125 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$

**Tabel 4.2** Probabilitas Transisi 3 *State* Kayu Pinus

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	147	$p_{11} = 0.9545$
	$S_{12}$	7	$p_{12} = 0.0455$
	$S_{13}$	0	$p_{13} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	6	$p_{21} = 0.375$
	$S_{22}$	8	$p_{22} = 0.5$
	$S_{23}$	2	$p_{23} = 0.125$
$S_3$	$S_{31}$	1	$p_{31} = 0.3333$
	$S_{32}$	1	$p_{32} = 0.3333$
	$S_{33}$	1	$p_{33} = 0.3333$

### 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi n-Langkah

Pada proses rantai Markov  $\pi_m$  merupakan probabilitas *state* pada periode yang berbeda atau untuk mendapatkan probabilitas periode ke-m. Dari persamaan (2.3) didapat  $\pi_m = \pi_0 \mathbf{P}^m$ ,  $\mathbf{P}$  adalah matriks probabilitas transisi yang telah didapat sebelumnya. Untuk matriks n-langkah menunjukkan perilaku setimbang dari jumlah produksi kayu pinus n-langkah kemudian. Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0]$ . Vektor *initial state* dan matriks probabilitas transisi *state* digunakan untuk mendapatkan hasil simulasi vektor probabilitas *state* pada periode yang akan datang, diperoleh  $\pi_1$  sebagai berikut

$$\begin{aligned}\pi_1 &= \pi_0 * \mathbf{P} = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9545 & 0.0455 & 0 \\ 0.375 & 0.5000 & 0.125 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix} \\ &= [0.9545 \ 0.0455 \ 0]\end{aligned}$$

dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

$$\begin{aligned}\pi_1 &= [0.9545 \ 0.0455 \ 0] \\ \pi_2 &= [0.9282 \ 0.0661 \ 0.0057] \\ \pi_3 &= [0.9127 \ 0.0771 \ 0.0102] \\ \pi_4 &= [0.9035 \ 0.0834 \ 0.0130]\end{aligned}$$

Selanjutnya didapat matriks probabilitas transisi n-langkah dengan matriks  $3 \times 3$  saat *steady state* jika memenuhi,

1.  $\rho_j = \sum_i \rho_i p_{ij}$ ,  $j \in S$
2.  $\sum_j \rho_j = 1$  [18]

dengan menggunakan persamaan (2.4),

$$[\rho_1 \rho_2 \rho_3] = [\rho_1 \rho_2 \rho_3] \begin{bmatrix} 0.9545 & 0.0455 & 0 \\ 0.375 & 0.5000 & 0.125 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix}$$

$$\rho_1 = 0.9545 \rho_1 + 0.375 \rho_2 + 0.3333 \rho_3 \quad (4.1)$$

$$\rho_2 = 0.0455 \rho_1 + 0.5 \rho_2 + 0.3333 \rho_3 \quad (4.2)$$

$$\rho_3 = 0.125 \rho_2 + 0.3333 \rho_3 \quad (4.3)$$

$$\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1 \quad (4.4)$$

Dari persamaan (4.3) didapat  $0.6667 \rho_3 = 0.125 \rho_2$ ,

maka  $\rho_3 = 0.1875\rho_2$ .

Dari persamaan (4.1) dan (4.2) didapat,

$$\rho_1 = 9.6154\rho_2.$$

Subtitusikan pada persamaan (4.4)

$$\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1$$

$$9.6154\rho_2 + \rho_2 + 0.1875\rho_2 = 1.$$

Maka didapat :

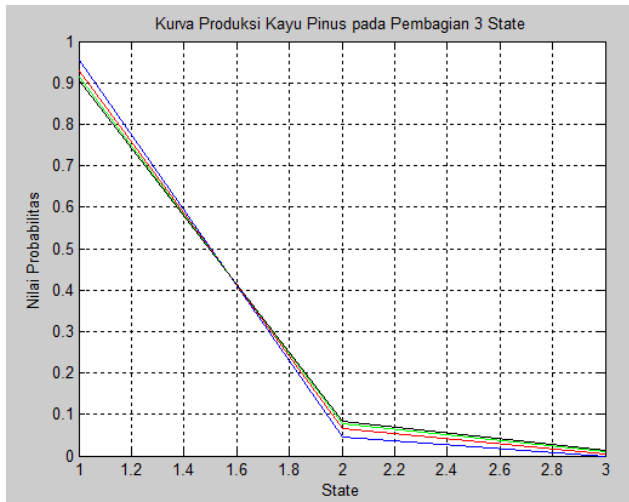
$$\rho_1 = 0.8902$$

$$\rho_2 = 0.0925$$

$$\rho_3 = 0.0173$$

Dapat dilihat pada Lampiran C untuk  $n = 2, n = 3, n = 4$  sampai dengan  $n = 20$  nilai probabilitasnya belum *steady state* atau setimbang, akan tetapi pada  $n = 21$  nilai probabilitasnya sudah setimbang. Sehingga untuk  $n = 22, n = 23$ , dan seterusnya nilai probabilitasnya sama dengan  $n = 21$  yaitu

$$P_{ij}^{21} = \begin{bmatrix} 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \end{bmatrix}$$



**Gambar 4.1** Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian 3 *State* untuk 4 Periode Berikutnya

Gambar 4.1 merupakan krva untuk 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Terlihat bahwa pada  $S_1$  mengalami penurunan nilai probabilitas,  $S_2$  dan  $S_3$  terjadi peningkatan.

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 3 *state* diperoleh dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  atau dengan interval  $X < 671.76$  dengan kemungkinan sebesar 95%,  $S_2$  atau dengan interval  $[671.76, 1343.52)$  kemungkinan sebesar 5%, dan  $S_3$  atau dengan interval  $X \geq 1343.52$  kemungkinan sebesar 0%. Selanjutnya pada saat periode 25 produksi akan mengalami *steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 25 dan seterusnya tidak akan mengalami perubahan pada hasil prediksi produksi kayu Pinus.

#### 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Pinus 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\pi_1 = [0.9545 \quad 0.0455 \quad 0]$$

$$\pi_2 = [0.9282 \quad 0.0661 \quad 0.0057]$$

$$\pi_3 = [0.9127 \quad 0.0771 \quad 0.0102]$$

$$\pi_4 = [0.9035 \quad 0.0834 \quad 0.0130]$$

Tabel 4.3 merupakan hasil prediksi dan data produksi kayu Pinus pada bulan April dan Mei 2017:

**Tabel 4.3** Prediksi Kayu Pinus April Mei 2017 Pembagi 3 *State*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 671.76$	209.72
2	II April 2017	$X < 671.76$	309.41
3	I Mei 2017	$X < 671.76$	241.64
4	II Mei 2017	$X < 671.76$	53.87

Terlihat pada Tabel 4.3 bahwa pada periode 1 April 2017 sampai dengan periode II Mei 2017 data produksi sesuai dengan hasil prediksi yaitu berada di interval satu  $X < 671.76$ . Prediksi

kayu Pinus 4 periode kedepan memiliki kecocokan dengan data 100% saat menggunakan pembagi 3 *state*.

#### 4.1.2 Prediksi Kayu Mahoni

##### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Mahoni dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Didapat selisih 2114.79 dari produksi maksimal dan minimal. Selisih tersebut dibagi 3 untuk mendapatkan *state*, sehingga dari data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 146 data,  $S_2$  sebanyak 24 data, dan  $S_3$  sebanyak 4 data. Selanjutnya pada Tabel 4.4 menjelaskan hasil pembagian 3 *state* dan nilai probabilitas didapat dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.4** Pembagian 3 *State* dan Probabilitas Kayu Mahoni

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 704.93$	$p_1 = 0.8391$
$S_2$	$[704.93, 1409.86)$	$p_2 = 0.1379$
$S_3$	$X \geq 1409.86$	$p_3 = 0.023$

##### 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 145 data,  $S_2$  sebanyak 24 data, dan  $S_3$  sebanyak 4 data. Berikut perhitungan nilai probabilitas transisi :

**Tabel 4.5** Probabilitas Transisi 3 *State* Kayu Mahoni

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	136	$p_{11} = 0.9379$
	$S_{12}$	9	$p_{12} = 0.0621$
	$S_{13}$	0	$p_{13} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	8	$p_{21} = 0.3333$
	$S_{22}$	14	$p_{22} = 0.5833$
	$S_{23}$	2	$p_{23} = 0.0833$
$S_3$	$S_{31}$	1	$p_{31} = 0.25$
	$S_{32}$	1	$p_{32} = 0.25$
	$S_{33}$	2	$p_{33} = 0.5$

### 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi *n*-Langkah

Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0]$ , dimana vektor *initial state* dan matriks probabilitas transisi *state* digunakan untuk mendapatkan hasil simulasi vektor probabilitas *state* pada periode yang akan datang, diperoleh nilai  $\pi_1$  sebagai berikut

$$\pi_1 = \pi_0 * P = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9379 & 0.0621 & 0 \\ 0.3333 & 0.5833 & 0.0833 \\ 0.2500 & 0.2500 & 0.5000 \end{bmatrix}$$

$$= [0.9379 \ 0.0621 \ 0]$$

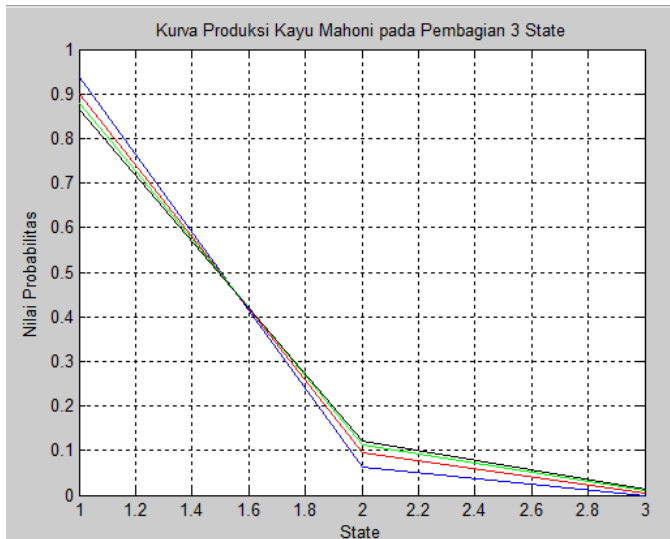
dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

$$\pi_1 = [0.9379 \ 0.0621 \ 0]$$

$$\pi_2 = [0.9004 \ 0.0944 \ 0.0052]$$

$$\pi_3 = [0.8773 \ 0.1123 \ 0.0105]$$

$$\pi_4 = [0.8629 \ 0.1226 \ 0.0146]$$



**Gambar 4.2** Kurva Produksi Kayu Mahoni pada Pembagian 3 *State* untuk 4 Periode Berikutnya

Pada Gambar 4.2 merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Terlihat bahwa  $S_1$  mengalami penurunan pada nilai probabilitasnya,  $S_2$  dan  $S_3$  mengalami kenaikan. Selanjutnya didapat matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah  $3 \times 3$  pada saat *steady state* dapat dilihat pada Lampiran C dan menggunakan persamaan (2.4), untuk  $n = 2, n = 3$  sampai  $n = 33$  nilai probabilitasnya belum setimbang. Akan tetapi pada  $n = 34$  nilai probabilitasnya setimbang, sehingga pada  $n = 35$  dan seterusnya nilai probabilitasnya sama pada  $n = 34$ .

$$P_{ij}^{34} = \begin{bmatrix} 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \end{bmatrix}$$

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 3 *state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  atau dengan interval  $X < 704.93$  dengan kemungkinan sebesar 94%,  $S_2$  atau dengan interval  $[704.93, 1409.86)$  kemungkinan sebesar 6%, dan  $S_3$  atau dengan interval  $X \geq 1409.86$  kemungkinan sebesar 0%. Kemudian pada saat periode 34, produksi kayu Mahoni akan mengalami *steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 34 dan seterusnya pada hasil prediksi produksi kayu Mahoni tidak akan mengalami perubahan.

#### 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Mahoni untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi_1 &= [0.9379 \quad 0.0621 \quad 0] \\ \pi_2 &= [0.9004 \quad 0.0944 \quad 0.0052] \\ \pi_3 &= [0.8773 \quad 0.1123 \quad 0.0105] \\ \pi_4 &= [0.8629 \quad 0.1226 \quad 0.0146] \end{aligned}$$

Tabel 4.6 terlihat bahwa prediksi 4 periode kedepan kayu Mahoni memiliki kecocokan atau kesesuaian dengan data sebesar 100% yang berada di interval satu yaitu  $X < 704.93$  saat menggunakan pembagian 3 *state*.



**Tabel 4.6** Nilai Prediksi Kayu Mahoni April Mei 2017 Pembagi 3 *State*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 704.93$	45.82
2	II April 2017	$X < 704.93$	53.53
3	I Mei 2017	$X < 704.93$	0
4	II Mei 2017	$X < 704.93$	76.19

#### 4.1.3 Prediksi Kayu Sengon

##### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Sengon dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Didapat selisih dari maksimal dan minimal dari data adalah 6075.88. Selisih tersebut dibagi 3 untuk mendapatkan interval masing-masing *state*, sehingga data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 172 data,  $S_2$  sebanyak 1 data, dan untuk  $S_3$  sebanyak 1 data. Tabel 4.7 menjelaskan hasil pembagian 3 interval dan nilai probabilitas yang didapat dengan menggunakan persamaan (2.1) .

**Tabel 4.7** Pembagian 3 *State* dan Probabilitas Kayu Sengon

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 2025.29$	$p_1 = 0.9885$
$S_2$	$[2025.29, 4050.59)$	$p_2 = 0.0057$
$S_3$	$X \geq 4050.59$	$p_3 = 0.0057$

##### 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 171 data,  $S_2$  sebanyak 1 data, dan untuk  $S_3$  sebanyak 1 data. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.8 diperoleh matriks probabilitas transisi yang berukuran  $3 \times 3$  untuk 3 *state* dan untuk mendapatkan nilai transisi dengan menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$P = \begin{pmatrix} 0.9942 & 0 & 0.0058 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

**Tabel 4.8** Probabilitas Transisi 3 State Kayu Sengon

State	Transisi State	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
S <sub>1</sub>	S <sub>11</sub>	170	p <sub>11</sub> = 0.9942
	S <sub>12</sub>	0	p <sub>12</sub> = 0
	S <sub>13</sub>	1	p <sub>13</sub> = 0.0058
S <sub>2</sub>	S <sub>21</sub>	1	p <sub>21</sub> = 1
	S <sub>22</sub>	0	p <sub>22</sub> = 0
	S <sub>23</sub>	0	p <sub>23</sub> = 0
S <sub>3</sub>	S <sub>31</sub>	0	p <sub>31</sub> = 0
	S <sub>32</sub>	1	p <sub>32</sub> = 1
	S <sub>33</sub>	0	p <sub>33</sub> = 0

### 3. Vektor Probabilitas State pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi n-Langkah

Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval S<sub>1</sub> tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0]$ . Vektor *initial state* dan matriks probabilitas transisi *state* digunakan untuk mendapatkan hasil simulasi vektor probabilitas *state* pada periode yang akan datang, diperoleh  $\pi_1$  sebagai berikut

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \pi_0 * P = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9942 & 0 & 0.0058 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ &= [0.9942 \ 0 \ 0.0058] \end{aligned}$$

dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

$$\pi_1 = [0.9942 \ 0 \ 0.0058]$$

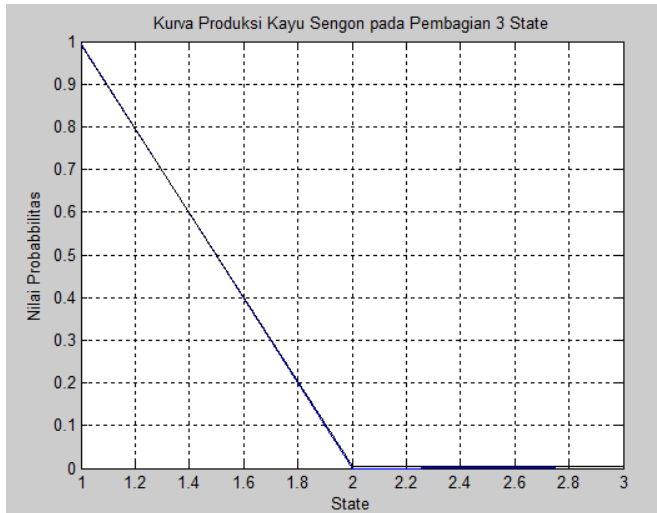
$$\pi_2 = [0.9883 \ 0.0058 \ 0.0058]$$

$$\pi_3 = [0.9884 \ 0.0058 \ 0.0058]$$

$$\pi_4 = [0.9884 \ 0.0058 \ 0.0058]$$

Gambar 4.3 dibawah merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Terlihat bahwa

state pertama atau  $S_1$  mengalami penurunan, nilai probabilitas  $S_2$  naik, dan  $S_3$  konvergen.



**Gambar 4.3** Kurva Produksi Kayu Sengon pada Pembagian 3 State untuk 4 Periode Berikutnya

Selanjutnya didapat matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah  $n$  dapat dilihat pada Lampiran C untuk  $n = 2, n = 3$ , dan  $n = 4$  nilai probabilitasnya belum setimbang, akan tetapi untuk  $n = 5$  nilai probabilitasnya sudah setimbang. Sehingga untuk  $n = 6$  dan seterusnya nilai probabilitasnya sama  $n = 5$  dan dengan menggunakan persamaan (2.4) didapat *steady state* terjadi pada  $n = 5$  :

$$P_{ij}^5 = \begin{bmatrix} 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \end{bmatrix}$$

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 3 state dari vektor probabilitas state, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  atau dengan interval  $X < 2025.29$  dengan kemungkinan sebesar 99%,  $S_2$  atau dengan interval  $[2025.29, 4050.59)$  kemungkinan sebesar 0%, dan  $S_3$  atau dengan interval  $X \geq 4050.59$  kemungkinan sebesar 1%. Pada periode 5, produksi kayu Sengon akan mengalami

*steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 5 dan seterusnya pada hasil prediksi produksi kayu Sengon konvergen atau tidak akan mengalami perubahan.

## 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Sengon untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\pi_1 = [0.9942 \quad 0 \quad 0.0058]$$

$$\pi_2 = [0.9883 \quad 0.0058 \quad 0.0058]$$

$$\pi_3 = [0.9884 \quad 0.0058 \quad 0.0058]$$

$$\pi_4 = [0.9884 \quad 0.0058 \quad 0.0058]$$

Berikut merupakan hasil prediksi dan data Kayu Sengon untuk bulan April dan Mei 2017 :

**Tabel 4.9** Nilai Prediksi Kayu Sengon April Mei 2017 Pembagi 3 *State*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 2025.29$	0
2	II April 2017	$X < 2025.29$	256.6
3	I Mei 2017	$X < 2025.29$	422.27
4	II Mei 2017	$X < 2025.29$	773.63

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa April sampai dengan Mei 2017 hasil prediksi 4 periode kedepan berada di interval satu  $X < 2025.29$ , sehingga data memiliki kesesuaian 100% dengan hasil prediksi saat pembagi 3 *state*.

### 4.1.4 Prediksi Kayu Damar

#### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Damar dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dan dapat dilihat pada Lampiran A. Selisih dari nilai maksimal dan minimal adalah 748.88. Selisih tersebut dibagi 3 untuk mendapatkan interval masing-masing *state*, sehingga data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 163 data,  $S_2$  sebanyak 7 data, dan untuk  $S_3$  sebanyak 4 data. Tabel 4.10 menjelaskan hasil pembagian 3 *state* dan nilai probabilitas yang didapat dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.10** Pembagian 3 *State* dan Probabilitas Kayu Damar

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 249.63$	$p_1 = 0.9368$
$S_2$	$[249.63, 499.25)$	$p_2 = 0.0402$
$S_3$	$X \geq 499.25$	$p_3 = 0.023$

## 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan April 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_3$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 162 data,  $S_2$  sebanyak 7 data, dan  $S_3$  sebanyak 4 data. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.11 diperoleh matriks probabilitas transisi *state* dengan nilai transisi didapat menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$P = \begin{pmatrix} 0.9877 & 0.0062 & 0.0062 \\ 0.1429 & 0.5714 & 0.2857 \\ 0.2500 & 0.5000 & 0.2500 \end{pmatrix}$$

**Tabel 4.11** Probabilitas Transisi 3 *State* Kayu Damar

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	160	$p_{11} = 0.9877$
	$S_{12}$	1	$p_{12} = 0.0062$
	$S_{13}$	1	$p_{13} = 0.0062$
$S_2$	$S_{21}$	1	$p_{21} = 0.1429$
	$S_{22}$	4	$p_{22} = 0.5714$
	$S_{23}$	2	$p_{23} = 0.2857$
$S_3$	$S_{31}$	1	$p_{31} = 0.25$
	$S_{32}$	2	$p_{32} = 0.5$
	$S_{33}$	1	$p_{33} = 0.25$

## 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi *n*-Langkah

Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0]$ , dimana vektor *initial state* dan matriks probabilitas transisi *state* digunakan untuk mendapatkan hasil simulasi vektor probabilitas *state* pada periode yang akan datang, diperoleh  $\pi_1$  sebagai berikut

$$\pi_1 = \pi_0 * \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.9877 & 0.0062 & 0.0062 \\ 0.1429 & 0.5714 & 0.2857 \\ 0.2500 & 0.5000 & 0.2500 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.9877 & 0.0062 & 0.0062 \end{bmatrix}$$

dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

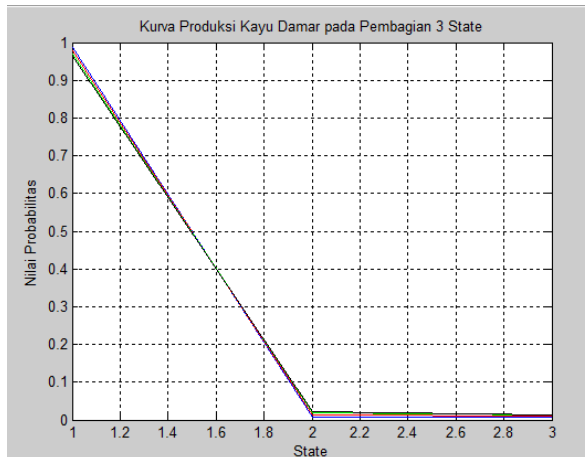
$$\pi_1 = \begin{bmatrix} 0.9877 & 0.0062 & 0.0062 \end{bmatrix}$$

$$\pi_2 = \begin{bmatrix} 0.9780 & 0.0128 & 0.0094 \end{bmatrix}$$

$$\pi_3 = \begin{bmatrix} 0.9701 & 0.0181 & 0.0121 \end{bmatrix}$$

$$\pi_4 = \begin{bmatrix} 0.9638 & 0.0224 & 0.0142 \end{bmatrix}$$

Dibawah Gambar 4.4 merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan warna hitam  $\pi_4$ . Terlihat bahwa  $S_1$  nilai perobabilitasnya menurun,  $S_2$  dan  $S_3$  naik. Pembagian 3 *state* kayu Damar tidak mencapai kondisi kesetimbangan, dapat dilihat pada Lampiran C karena saat kondisi tertentu jumlah pada baris matriks probabilitas transisi tidak sama dengan satu.



**Gambar 4.4** Kurva Produksi Kayu Damar pada Pembagian 3 *State* untuk 4 Periode Berikutnya

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 3 *state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  atau dengan interval  $X < 249.63$  dengan kemungkinan sebesar 98%,  $S_2$  atau

dengan interval  $[249.63, 499.25)$  kemungkinan sebesar 1%, dan  $S_3$  atau dengan interval  $X \geq 499.25$  kemungkinan sebesar 1%. Pada kayu Damar untuk pembagi *state* 3 tidak dapat mencapai kondisi setimbang.

## 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Damar untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\pi_1 = [0.9877 \quad 0.0062 \quad 0.0062]$$

$$\pi_2 = [0.9780 \quad 0.0128 \quad 0.0094]$$

$$\pi_3 = [0.9701 \quad 0.0181 \quad 0.0121]$$

$$\pi_4 = [0.9638 \quad 0.0224 \quad 0.0142]$$

Berikut merupakan hasil prediksi dan data produksi kayu Damar bulan April Mei 2017 :

**Tabel 4.12** Nilai Prediksi Kayu Damar April Mei 2017 Pembagi 3 *State*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 249.63$	0
2	II April 2017	$X < 249.63$	206.62
3	I Mei 2017	$X < 249.63$	90.23
4	II Mei 2017	$X < 249.63$	306.36

Tabel 4.12 terlihat bahwa prediksi kayu Damar 4 periode kedepan berada di interval pertama akan tetap data yang ada yang sesuai dengan prediksi ada 3 yang sesuai dan 1 berada di interval kedua  $[249.63, 499.25)$ , sehingga prediksi kayu Damar memiliki kesesuaian dengan data sebesar 75% saat pembagi 3 *state*.

## 4.2 Pembagian 4 *State*

Pada subbab ini akan dilakukan langkah-langkah untuk mendapatkan hasil prediksi masing-masing jenis kayu pembagi 4 *state* sebagai berikut : pembentukan interval, serta penentuan probabilitas *state*, pembentukan matriks probabilitas transisi, vektor probabilitas *state*, matriks probabilitas transisi *n*-langkah, analisis hasil simulasi, dan validasi hasil prediksi.

#### 4.2.1 Prediksi Kayu Pinus

##### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval pertama yakni untuk kayu pohon pinus dari Januari 2013 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data tersebut didapat selisih dari maksimal produksi dan minimalnya adalah 2015.28, selisih dibagi 4 untuk masing-masing *state*. Data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 148 data,  $S_2$  sebanyak 19 data,  $S_3$  sebanyak 4 data, dan  $S_4$  sebanyak 3 data. Pada Tabel 4.13 menjelaskan hasil pembagian 3 *state* dan nilai probabilitas didapat dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.13** Pembagian 4 *State* dan Probabilitas Kayu Pinus

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 503.82$	$p_1 = 0.8506$
$S_2$	$[503.82, 1007.64)$	$p_2 = 0.1092$
$S_3$	$[1007.64, 1511.46)$	$p_3 = 0.0230$
$S_4$	$X \geq 1511.46$	$p_4 = 0.0172$

##### 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 147 data,  $S_2$  sebanyak 19 data,  $S_3$  sebanyak 4 data, dan  $S_4$  sebanyak 3 data. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.14 diperoleh matriks probabilitas transisi *state* dengan nilai transisi didapat menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$P = \begin{pmatrix} 0.9320 & 0.0544 & 0.0136 & 0 \\ 0.4211 & 0.4211 & 0.0526 & 0.1053 \\ 0.5000 & 0.5000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$



**Tabel 4.14** Probabilitas Transisi 4 *State* Kayu Pinus

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	137	$p_{11} = 0.9320$
	$S_{12}$	8	$p_{12} = 0.0544$
	$S_{13}$	2	$p_{13} = 0.0136$
	$S_{14}$	0	$p_{14} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	8	$p_{21} = 0.4211$
	$S_{22}$	8	$p_{22} = 0.4211$
	$S_{23}$	1	$p_{23} = 0.0526$
	$S_{24}$	2	$p_{24} = 0.1053$
$S_3$	$S_{31}$	2	$p_{31} = 0.5$
	$S_{32}$	2	$p_{32} = 0.5$
	$S_{33}$	0	$p_{33} = 0$
	$S_{34}$	0	$p_{34} = 0$
$S_4$	$S_{41}$	0	$p_{41} = 0$
	$S_{42}$	1	$p_{42} = 0.3333$
	$S_{43}$	1	$p_{43} = 0.3333$
	$S_{44}$	1	$p_{44} = 0.3333$

### 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi *n*-Langkah

Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$  diperoleh  $\pi_1$  sebagai berikut

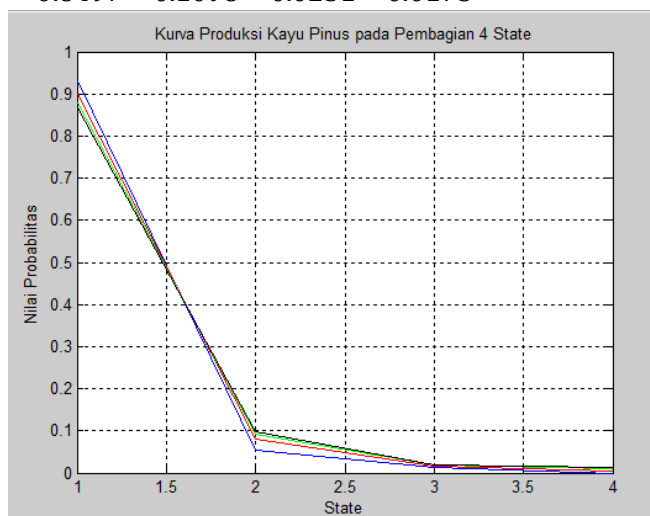
$$\begin{aligned}\pi_1 &= \pi_0 * \mathbf{P} \\ &= [1 \ 0 \ 0 \ 0] * \begin{bmatrix} 0.9320 & 0.0544 & 0.0136 & 0 \\ 0.4211 & 0.4211 & 0.0526 & 0.1053 \\ 0.5000 & 0.5000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix} \\ &= [0.9320 \ 0.0544 \ 0.0136 \ 0]\end{aligned}$$

dengan menggunakan persamaan (2.3), maka didapat

$$\begin{aligned}\pi_1 &= [0.9320 \ 0.0544 \ 0.0136 \ 0] \\ \pi_2 &= [0.8983 \ 0.0804 \ 0.0155 \ 0.0057] \\ \pi_3 &= [0.8788 \ 0.0924 \ 0.0184 \ 0.0104] \\ \pi_4 &= [0.8671 \ 0.0994 \ 0.0203 \ 0.0132]\end{aligned}$$

Gambar 4.5 merupakan kurva dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Terlihat bahwa nilai probabilitas  $S_1$  mengalami penurunan,  $S_2$ ,  $S_3$ , dan  $S_4$  terjadi kenaikan. Selanjutnya untuk mencari keadaan setimbang dengan cara yang sama, dapat dilihat pada Lampiran C matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah  $4 \times 4$  untuk  $n = 2, n = 3$ , sampai  $n = 20$  nilai probabilitas belum setimbang, akan tetapi pada saat  $n = 21$  nilai setimbang. Sehingga untuk  $n = 22$  dan seterusnya *steady state*, nilai probabilitas sama pada  $n = 21$  dan dengan menggunakan persamaan (2.4) :

$$P_{ij}^{21} = \begin{bmatrix} 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \end{bmatrix}$$



**Gambar 4.5** Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian 4 *State* untuk 4 Periode Berikutnya

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 4 *state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  kemungkinan sebesar 93,2%,  $S_2$  kemungkinan sebesar 5,44%,  $S_3$  kemungkinan

sebesar 1,36% , dan  $S_4$  0 %. Selanjutnya pada saat periode 21, produksi kayu Pinus akan mengalami *steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 21 dan seterusnya tidak akan mengalami perubahan pada hasil prediksi produksi kayu Pinus.

## 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Pinus untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\pi_1 = [0.9320 \quad 0.0544 \quad 0.0136 \quad 0]$$

$$\pi_2 = [0.8983 \quad 0.0804 \quad 0.0155 \quad 0.0057]$$

$$\pi_3 = [0.8788 \quad 0.0924 \quad 0.0184 \quad 0.0104]$$

$$\pi_4 = [0.8671 \quad 0.0994 \quad 0.0203 \quad 0.0132]$$

Tabel 4.15 terlihat bahwa prediksi kayu Pinus 4 periode kedepan bulan April sampai dengan Mei 2017 berada di interval pertama  $X < 503.8$  , sehingga hasil prediksi dengan data yang ada memiliki kecocokan sebesar 100% saat pembagi 4 *state*.

**Tabel 4.15** Nilai Prediksi Kayu Pinus April Mei 2017 Pembagi 4 *state*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 503.82$	209.72
2	II April 2017	$X < 503.82$	309.41
3	I Mei 2017	$X < 503.82$	241.64
4	II Mei 2017	$X < 503.82$	53.87

### 4.2.2 Prediksi Kayu Mahoni

#### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Mahoni dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data didapat selisih dari nilai maksimal dan minimal adalah 2114.79. Selisih tersebut dibagi menjadi 4 *state*, sehingga data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 140 data,  $S_2$  sebanyak 24 data,  $S_3$  sebanyak 7 data, dan  $S_4$  sebanyak 3 data. Pada Tabel 4.16 menjelaskan hasil pembagian 4 *state* dan nilai probabilitas didapat dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.16** Pembagian 4 *State* dan Probabilitas Kayu Mahoni

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 528.6975$	$p_1 = 0.8046$
$S_2$	$[528.6975, 1057.395)$	$p_2 = 0.1379$
$S_3$	$[1057.395, 1586.0925)$	$p_3 = 0.0402$
$S_4$	$X \geq 1586.0925$	$p_4 = 0.0172$

## 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 139 data,  $S_2$  sebanyak 24 data,  $S_3$  sebanyak 7 data, dan  $S_4$  sebanyak 3 data. Tabel 4.17 merupakan nilai probabilitas transisi dengan menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut :

**Tabel 4.17** Probabilitas Transisi 4 *State* Kayu Mahoni

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	129	$p_{11} = 0.928$
	$S_{12}$	7	$p_{12} = 0.0504$
	$S_{13}$	3	$p_{13} = 0.0216$
	$S_{14}$	0	$p_{14} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	8	$p_{21} = 0.3333$
	$S_{22}$	13	$p_{22} = 0.5417$
	$S_{23}$	3	$p_{23} = 0.125$
	$S_{24}$	0	$p_{24} = 0$
$S_3$	$S_{31}$	3	$p_{31} = 0.1429$
	$S_{32}$	14	$p_{32} = 0.5714$
	$S_{33}$	0	$p_{33} = 0$
	$S_{34}$	7	$p_{34} = 0.2857$
$S_4$	$S_{41}$	1	$p_{41} = 0.3333$
	$S_{42}$	0	$p_{42} = 0$
	$S_{43}$	1	$p_{43} = 0.3333$
	$S_{44}$	1	$p_{44} = 0.3333$

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.17 diperoleh matriks probabilitas transisi *state* yang berukuran  $4 \times 4$  pada pembagian 4 *state* sebagai berikut:

$$P = \begin{pmatrix} 0.9281 & 0.0504 & 0.0216 & 0 \\ 0.3333 & 0.5417 & 0.1250 & 0 \\ 0.1429 & 0.5714 & 0 & 0.2857 \\ 0.3333 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$

### 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi *n*-Langkah

Karena jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$ . Kemudian diperoleh  $\pi_1$ ,

$$\pi_1 = \pi_0 * P$$

$$= [1 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9281 & 0.0504 & 0.0216 & 0 \\ 0.3333 & 0.5417 & 0.1250 & 0 \\ 0.1429 & 0.5714 & 0 & 0.2857 \\ 0.3333 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix}$$

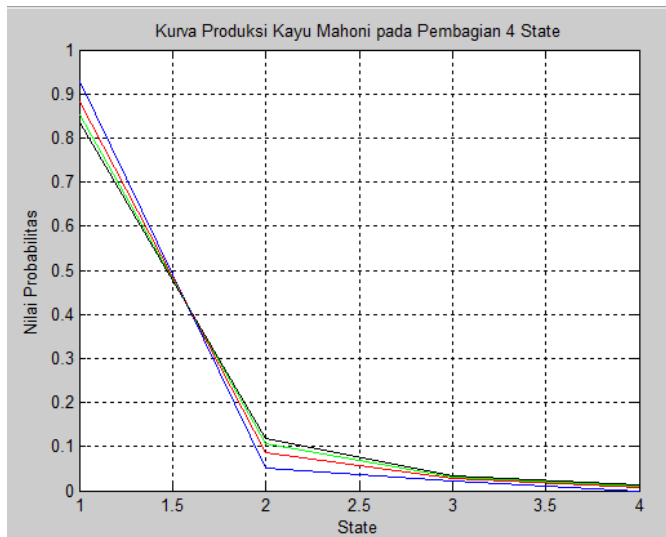
$$= [0.9281 \ 0.0504 \ 0.0216 \ 0]$$

dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

$$\pi_2 = [0.8812 \ 0.0863 \ 0.0263 \ 0.0062]$$

$$\pi_3 = [0.8524 \ 0.1062 \ 0.0319 \ 0.0096]$$

$$\pi_4 = [0.8342 \ 0.1187 \ 0.0349 \ 0.0123]$$



**Gambar 4.6** Kurva Produksi Kayu Mahoni pada Pembagian 4 *State* untuk 4 Periode Berikutnya

Gambar 4.6 merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Dapat disimpulkan bahwa nilai probabilitas  $S_1$  terjadi penurunan,  $S_2$ ,  $S_3$ , dan  $S_4$  terjadi kenaikan. Selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran C diperoleh matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah  $4 \times 4$  pada saat  $n = 2, n = 3$  samapi  $n = 23$  nilai probabilitasnya belum setimbang, akan tetapi untuk  $n = 24$  dan seterusnya nilai probabilitasnya sudah setimbang. Sehingga *steady state* di  $n = 24$  dengan menggunakan persamaan (2.4) :

$$P_{ij}^{24} = \begin{bmatrix} 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \end{bmatrix}$$

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 4 *state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  kemungkinan sebesar 93%,  $S_2$  kemungkinan sebesar 5%,  $S_3$  kemungkinan sebesar 2%, dan  $S_4$  0 %. Selanjutnya saat periode 24, produksi kayu Mahoni akan mengalami *steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 24 dan seterusnya tidak akan mengalami perubahan pada hasil prediksi produksi kayu Mahoni.

#### 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Mahoni untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi_1 &= [0.9281 \quad 0.0504 \quad 0.0216 \quad 0] \\ \pi_2 &= [0.8812 \quad 0.0863 \quad 0.0263 \quad 0.0062] \\ \pi_3 &= [0.8524 \quad 0.1062 \quad 0.0319 \quad 0.0096] \\ \pi_4 &= [0.8342 \quad 0.1187 \quad 0.0349 \quad 0.0123] \end{aligned}$$

Dari Tabel 4.18 terlihat bahwa prediksi kayu Mahoni 4 periode kedepan bulan April sampai dengan Mei 2017 berada di interval pertama  $X < 528.6975$ , sehingga hasil prediksi dengan data yang ada memiliki kecocokan sebesar 100% saat pembagi 4 *state*.

**Tabel 4.18** Nilai Prediksi Kayu Mahoni April Mei 2017 Pembagi 4 *state*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 528.6975$	45.82
2	II April 2017	$X < 528.6975$	53.53
3	I Mei 2017	$X < 528.6975$	0
4	II Mei 2017	$X < 528.6975$	76.19

#### 4.2.3 Prediksi Kayu Sengon

##### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Sengon dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Selisih yang didapat dari nilai maksimal dan minimal adalah 6075.88. Selisih tersebut dibagi menjadi 4 *state*. Dari data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 169 data,  $S_2$  sebanyak 4 data,  $S_3$  sebanyak 0 data, dan  $S_4$  sebanyak 1 data. Tabel 4.19 menjelaskan hasil pembagian 4 *state* dan didapat nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.19** Pembagian 4 *State* dan Probabilitas Kayu Sengon

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 1518.97$	$p_1 = 0.9713$
$S_2$	$[1518.97, 3037.94)$	$p_2 = 0.023$
$S_3$	$[3037.94, 4556.91)$	$p_3 = 0$
$S_4$	$X \geq 4556.91$	$p_4 = 0.0057$

##### 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Maret 2017 pada periode II produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 168 data,  $S_2$  sebanyak 4 data,  $S_3$  sebanyak 0 data, dan  $S_4$  sebanyak 1 data. Dengan menggunakan persamaan (2.2) jelas salah satu baris dari matriks probabilitas transisi terdapat jumlah baris tidak sama dengan satu, maka syarat tidak terpenuhi. Karena matriks probabilitas transisi tidak memenuhi syarat, sehingga tidak dapat digunakan untuk langkah berikutnya. Kayu

Sengon tidak dapat diprediksi hasil produksi pada periode yang akan mendatang dengan menggunakan pembagian 4 *state*.

#### 4.2.4 Prediksi Kayu Damar

##### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Damar dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data didapat selisih dari nilai maksimal dan minimal adalah 748.88. Setelah itu dibagi 4 untuk mendapatkan interval. Data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 162 data,  $S_2$  sebanyak 5 data,  $S_3$  sebanyak 6 data, dan  $S_4$  sebanyak 1 data. Kemudian Tabel 4.21 menjelaskan hasil pembagian 4 *state* dan didapat nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.21** Pembagian 4 *State* dan Probabilitas Kayu Damar

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 187.22$	$p_1 = 0.931$
$S_2$	$[187.22, 374.44)$	$p_2 = 0.0287$
$S_3$	$[374.44, 561.66)$	$p_3 = 0.0345$
$S_4$	$X \geq 561.66$	$p_5 = 0.0057$

##### 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Pada Maret 2017 periode II produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 161 data,  $S_2$  sebanyak 5 data,  $S_3$  sebanyak 6 data, dan  $S_4$  sebanyak 1 data. Dari hasil perhitungan Tabel 4.22 diperoleh matriks probabilitas transisi *state* dan untuk mendapatkan nilai probabilitas transisi dengan menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$P = \begin{pmatrix} 0.9938 & 0.0062 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 0 & 0.3333 & 0.6667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



**Tabel 4.22** Probabilitas Transisi 4 *State* Kayu Damar

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	160	$p_{11} = 0.9938$
	$S_{12}$	1	$p_{12} = 0.0062$
	$S_{13}$	0	$p_{13} = 0$
	$S_{14}$	0	$p_{14} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	0	$p_{21} = 0$
	$S_{22}$	2	$p_{22} = 0.4$
	$S_{23}$	2	$p_{23} = 0.4$
	$S_{24}$	1	$p_{24} = 0.2$
$S_3$	$S_{31}$	0	$p_{31} = 0$
	$S_{32}$	2	$p_{32} = 0.3333$
	$S_{33}$	4	$p_{33} = 0.6667$
	$S_{34}$	0	$p_{34} = 0$
$S_4$	$S_{41}$	1	$p_{41} = 1$
	$S_{42}$	0	$p_{42} = 0$
	$S_{43}$	0	$p_{43} = 0$
	$S_{44}$	0	$p_{44} = 0$

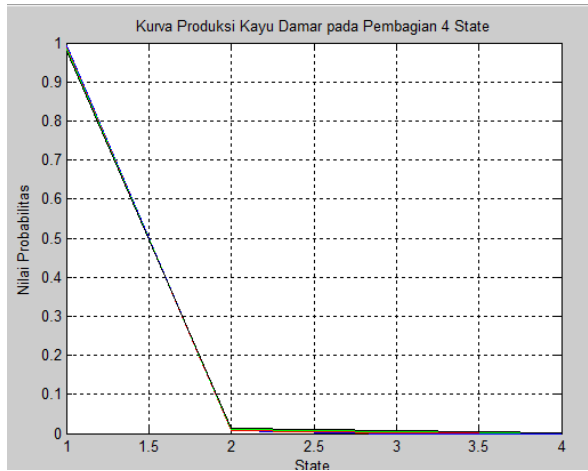
### 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi *n*-Langkah

Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$ . Kemudian diperoleh nilai  $\pi_1$  sebagai berikut,

$$\begin{aligned}\pi_1 &= \pi_0 * P \\ &= [1 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9938 & 0.0062 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 0 & 0.3333 & 0.6667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= [0.9938 \ 0.0062 \ 0 \ 0]\end{aligned}$$

dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

$$\begin{aligned}\pi_1 &= [0.9938 \ 0.0062 \ 0 \ 0] \\ \pi_2 &= [0.9876 \ 0.0086 \ 0.0025 \ 0.0012] \\ \pi_3 &= [0.9828 \ 0.0104 \ 0.0051 \ 0.0017] \\ \pi_4 &= [0.9784 \ 0.0120 \ 0.0076 \ 0.0021]\end{aligned}$$



**Gambar 4.7** Kurva Produksi Kayu Damar pada Pembagian 4 *State* untuk 4 Periode Berikutnya

Gambar 4.7 merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Terlihat bahwa nilai probabilitas  $S_1$  mengalami penurunan,  $S_2$ ,  $S_3$ , dan  $S_4$  terjadi kenaikan. Selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran C diperoleh matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah  $4 \times 4$  pada saat  $n = 2, n = 3$  sampai  $n = 126$  nilai probabilitasnya belum setimbang, akan tetapi pada  $n = 127$  dan seterusnya *steady state* di  $n = 127$  dengan nilai probabilitasnya sama dan dengan menggunakan persamaan (2.4) :

$$P_{ij}^{127} = \begin{bmatrix} 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \end{bmatrix}$$

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 5 *state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  kemungkinan sebesar 99%,  $S_2$  kemungkinan sebesar 1%,  $S_3$  kemungkinan sebesar 0%, dan  $S_4$  0 %. Pada periode 127 mengalami *steady*

*state*. Pohon sengon pada periode 127 dan seterusnya tidak akan mengalami perubahan prediksi produksi kayu Damar.

## 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Damar untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\pi_1 = [0.9938 \quad 0.0062 \quad 0 \quad 0]$$

$$\pi_2 = [0.9876 \quad 0.0086 \quad 0.0025 \quad 0.0012]$$

$$\pi_3 = [0.9828 \quad 0.0104 \quad 0.0051 \quad 0.0017]$$

$$\pi_4 = [0.9784 \quad 0.0120 \quad 0.0076 \quad 0.0021]$$

Tabel 4.23 merupakan hasil prediksi dan data produksi kayu Damar pada bulan April dan Mei 2017:

**Tabel 4.23** Nilai Prediksi Kayu Damar April Mei 2017 Pembagi 4 *state*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 187.22$	0
2	II April 2017	$X < 187.22$	206.62
3	I Mei 2017	$X < 187.22$	90.23
4	II Mei 2017	$X < 187.22$	306.36

Dari Tabel 4.23 terlihat bahwa prediksi kayu Damar 4 periode kedepan bulan April sampai dengan Mei 2017 berada di interval pertama  $X < 528.6975$ . Akan tetapi pada April periode II dan Mei periode II 2017 berada pada interval lainnya, sehingga hasil prediksi dengan data yang ada memiliki kecocokan sebesar 50% saat pembagi 4 *state*.

## 4.3 Pembagian 5 State

Pada subbab ini akan dilakukan langkah-langkah untuk mendapatkan prediksi dari masing-masing jenis kayu sebagai berikut : pembentukan interval, serta penentuan probabilitas *state*, pembentukan matriks probabilitas transisi, vektor probabilitas *state*, matriks probabilitas transisi *n*-langkah, analisis hasil simulasi, dan validasi hasil prediksi.

### 4.3.1 Prediksi Kayu Pinus

#### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval pertama yakni untuk kayu pohon Pinus dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data didapat selisih dari nilai maksimal dan minimal adalah 2015.28. Setelah itu dibagi 5 untuk mendapatkan interval tiap *state*. Data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 136 data,  $S_2$  sebanyak 25 data,  $S_3$  sebanyak 9 data,  $S_4$  sebanyak 1 data, dan  $S_5$  sebanyak 3 data. Tabel 4.24 menjelaskan hasil pembagian 5 *state* dan didapat nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.24** Pembagian 5 *State* dan Probabilitas Kayu Pinus

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 403.056$	$p_1 = 0.7816$
$S_2$	$[403.056, 806.112)$	$p_2 = 0.1437$
$S_3$	$[806.112, 1209.168)$	$p_3 = 0.0517$
$S_4$	$[1209.168, 1612.224)$	$p_4 = 0.0057$
$S_5$	$X \geq 1612.224$	$p_5 = 0.0172$

#### 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Pada periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka banyak data yang termasuk  $S_1$  adalah 135 data,  $S_2$  sebanyak 25 data,  $S_3$  sebanyak 9 data,  $S_4$  sebanyak 1 data, dan  $S_5$  sebanyak 3 data. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.25 diperoleh matriks probabilitas transisi *state* dan nilai probabilitas transisi didapat dengan menggunakan persamaan (2.2) :

$$P = \begin{pmatrix} 0.9185 & 0.0593 & 0.0222 & 0 & 0 \\ 0.32 & 0.56 & 0.08 & 0 & 0.04 \\ 0.3333 & 0.2222 & 0.3333 & 0 & 0.1111 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$

**Tabel 4.25** Probabilitas Transisi 5 *State* Kayu Pinus

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	124	$p_{11} = 0.9185$
	$S_{12}$	8	$p_{12} = 0.0593$
	$S_{13}$	3	$p_{13} = 0.0222$
	$S_{14}$	0	$p_{14} = 0$
	$S_{15}$	0	$p_{15} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	8	$p_{21} = 0.32$
	$S_{22}$	14	$p_{22} = 0.56$
	$S_{23}$	2	$p_{23} = 0.08$
	$S_{24}$	0	$p_{24} = 0$
	$S_{25}$	1	$p_{25} = 0.04$
$S_3$	$S_{31}$	3	$p_{31} = 0.3333$
	$S_{32}$	2	$p_{32} = 0.2222$
	$S_{33}$	3	$p_{33} = 0.3333$
	$S_{34}$	0	$p_{34} = 0$
	$S_{35}$	1	$p_{35} = 0.1111$
$S_4$	$S_{41}$	0	$p_{41} = 0$
	$S_{42}$	0	$p_{42} = 0$
	$S_{43}$	1	$p_{43} = 1$
	$S_{44}$	0	$p_{44} = 0$
	$S_{45}$	0	$p_{45} = 0$
$S_5$	$S_{51}$	0	$p_{51} = 0$
	$S_{52}$	1	$p_{52} = 0.3333$
	$S_{53}$	0	$p_{53} = 0$
	$S_{54}$	1	$p_{54} = 0.3333$
	$S_{55}$	1	$p_{55} = 0.3333$

### 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi *n*-Langkah

Karena jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ . Kemudian diperoleh nilai  $\pi_1$  sebagai berikut,

$$\pi_1 = \pi_0 * \mathbf{P}$$

$$\begin{aligned}
&= [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9185 & 0.0593 & 0.0222 & 0 & 0 \\ 0.32 & 0.56 & 0.08 & 0 & 0.04 \\ 0.3333 & 0.2222 & 0.3333 & 0 & 0.1111 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix} \\
&= [0.9185 \ 0.0593 \ 0.0222 \ 0 \ 0]
\end{aligned}$$

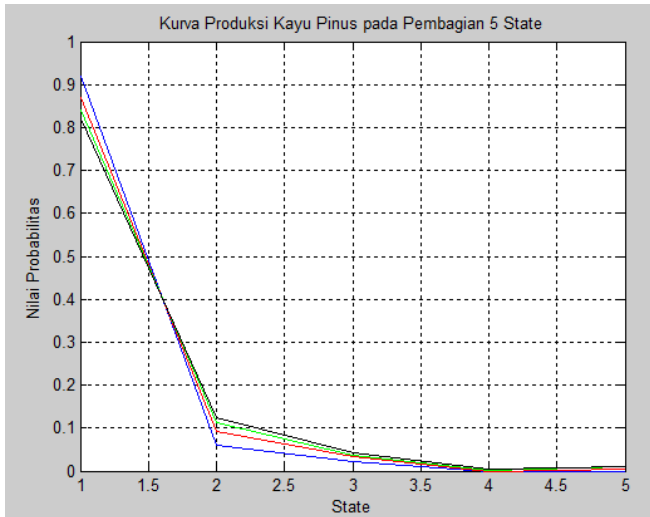
dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

$$\pi_1 = [0.9185 \ 0.0593 \ 0.0222 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_2 = [0.8700 \ 0.0926 \ 0.0326 \ 0 \ 0.0048]$$

$$\pi_3 = [0.8396 \ 0.1122 \ 0.0376 \ 0.0016 \ 0.0089]$$

$$\pi_4 = [0.8197 \ 0.1239 \ 0.0418 \ 0.0030 \ 0.0116]$$



**Gambar 4.8** Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian 5 *State* untuk 4 Periode Berikutnya

Gambar 4.8 dibawah ini merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Dapat disimpulkan bahwa nilai probabilitas  $S_1$  terjadi penurunan,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  dan  $S_5$  mengalami kenaikan. Selanjutnya dapat lihat pada Lampiran C diperoleh matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah  $5 \times 5$  pada saat  $n = 2, n = 3$  sampai  $n = 27$  nilai probabilitasnya belum setimbang, akan tetapi pada  $n = 28$  dan seterusnya *steady*

*state* di  $n = 28$  dengan nilai probabilitasnya sama dan dengan menggunakan persamaan (2.4) :

$$P_{ij}^{28} = \begin{bmatrix} 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \end{bmatrix}$$

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian *5state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  kemungkinan sebesar 92%,  $S_2$  kemungkinan sebesar 6%,  $S_3$  kemungkinan sebesar 2% ,  $S_4$  0 %, dan  $S_5$  0%. Kemudian pada saat periode 28, produksi kayu Mahoni akan mengalami *steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 28 dan seterusnya tidak akan mengalami perubahan pada hasil prediksi produksi kayu Pinus.

#### 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Pinus untuk 4 periode kedepan :

$$\pi_1 = [0.9185 \quad 0.0593 \quad 0.0222 \quad 0 \quad 0]$$

$$\pi_2 = [0.8700 \quad 0.0926 \quad 0.0326 \quad 0 \quad 0.0048]$$

$$\pi_3 = [0.8396 \quad 0.1122 \quad 0.0376 \quad 0.0016 \quad 0.0089]$$

$$\pi_4 = [0.8197 \quad 0.1239 \quad 0.0418 \quad 0.0030 \quad 0.0116]$$

Dari Tabel 4.26 terlihat bahwa prediksi kayu Pinus 4 periode kedepan bulan April sampai dengan Mei 2017 berada di interval pertama  $X < 403.056$ , sehingga hasil prediksi dengan data yang ada memiliki kecocokan sebesar 100% saat pembagi 5 *state*.

**Tabel 4.26** Nilai Prediksi Kayu Pinus April Mei 2017 Pembagi 5 *state*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 403.056$	209.72
2	II April 2017	$X < 403.056$	309.41
3	I Mei 2017	$X < 403.056$	241.64
4	II Mei 2017	$X < 403.056$	53.87

### 4.3.2 Prediksi Kayu Mahoni

#### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Mahoni dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data didapat selisih dari nilai maksimal dan minimal adalah 2114.79. Selisih tersebut dibagi 5 untuk mendapatkan interval tiap *state*. Data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 138 data,  $S_2$  sebanyak 18 data,  $S_3$  sebanyak 11 data,  $S_4$  sebanyak 4 data, dan  $S_5$  sebanyak 3 data. Kemudian pada Tabel 4.27 menjelaskan hasil pembagian 5 *state* dan didapat nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.27** Pembagian 5 *State* dan Probabilitas Kayu Mahoni

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 422.958$	$p_1 = 0.7931$
$S_2$	$[422.958, 845.916)$	$p_2 = 0.1034$
$S_3$	$[845.916, 1268.874)$	$p_3 = 0.0632$
$S_4$	$[1268.874, 1691.832)$	$p_4 = 0.0230$
$S_5$	$X \geq 1691.832$	$p_5 = 0.0172$

#### 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 137 data,  $S_2$  sebanyak 18 data,  $S_3$  sebanyak 11 data,  $S_4$  sebanyak 4 data, dan  $S_5$  sebanyak 3 data. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.28 diperoleh matriks probabilitas transisi dan nilai probabilitas transisi didapat dengan menggunakan persamaan (2.2) :

$$P = \begin{pmatrix} 0.9343 & 0.0438 & 0.0146 & 0.0073 & 0 \\ 0.4444 & 0.2778 & 0.2222 & 0.0556 & 0 \\ 0 & 0.3636 & 0.4545 & 0.0909 & 0.0909 \\ 0 & 0.7500 & 0 & 0 & 0.2500 \\ 0.3333 & 0 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$



**Tabel 4.28** Probabilitas Transisi 5 State Kayu Mahoni

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	128	$p_{11} = 0.9343$
	$S_{12}$	6	$p_{12} = 0.0438$
	$S_{13}$	2	$p_{13} = 0.0146$
	$S_{14}$	1	$p_{14} = 0.0073$
	$S_{15}$	0	$p_{15} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	8	$p_{21} = 0.4444$
	$S_{22}$	5	$p_{22} = 0.2778$
	$S_{23}$	4	$p_{23} = 0.2222$
	$S_{24}$	1	$p_{24} = 0.0556$
	$S_{25}$	0	$p_{25} = 0$
$S_3$	$S_{31}$	0	$p_{31} = 0$
	$S_{32}$	4	$p_{32} = 0.3636$
	$S_{33}$	5	$p_{33} = 0.4545$
	$S_{34}$	1	$p_{34} = 0.0909$
	$S_{35}$	1	$p_{35} = 0.0909$
$S_4$	$S_{41}$	0	$p_{41} = 0$
	$S_{42}$	3	$p_{42} = 0.75$
	$S_{43}$	0	$p_{43} = 0$
	$S_{44}$	0	$p_{44} = 0$
	$S_{45}$	1	$p_{45} = 0.25$
$S_5$	$S_{51}$	1	$p_{51} = 0.3333$
	$S_{52}$	0	$p_{52} = 0$
	$S_{53}$	0	$p_{53} = 0$
	$S_{54}$	1	$p_{54} = 0.3333$
	$S_{55}$	1	$p_{55} = 0.3333$

### 3. Vektor Probabilitas State pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi n-Langkah

Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ . Selanjutnya diperoleh nilai  $\pi_1$  sebagai berikut,

$$\pi_1 = \pi_0 * P$$

$$= [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9343 & 0.0438 & 0.0146 & 0.0073 & 0 \\ 0.4444 & 0.2778 & 0.2222 & 0.0556 & 0 \\ 0 & 0.3636 & 0.4545 & 0.0909 & 0.0909 \\ 0 & 0.7500 & 0 & 0 & 0.2500 \\ 0.3333 & 0 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix}$$

$$= [0.9343 \ 0.0438 \ 0.0146 \ 0.0073 \ 0]$$

dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

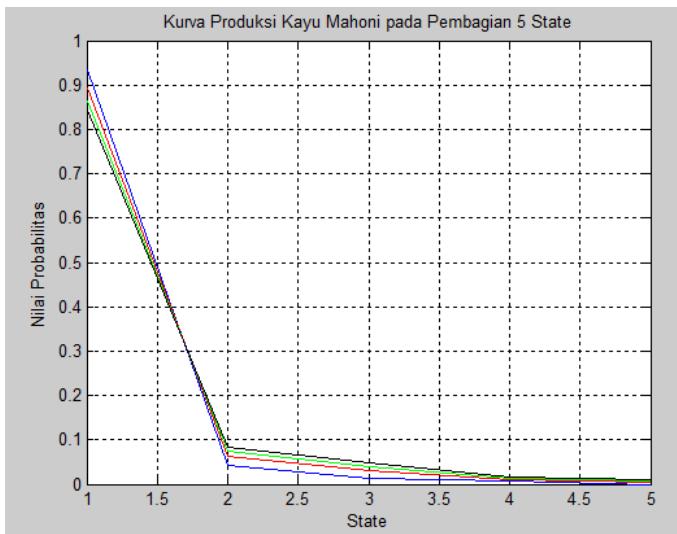
$$\pi_1 = [0.9343 \ 0.0438 \ 0.0146 \ 0.0073 \ 0]$$

$$\pi_2 = [0.8924 \ 0.0639 \ 0.0300 \ 0.0106 \ 0.0032]$$

$$\pi_3 = [0.8632 \ 0.0757 \ 0.0409 \ 0.0138 \ 0.0064]$$

$$\pi_4 = [0.8423 \ 0.0841 \ 0.0480 \ 0.0164 \ 0.0093]$$

Gambar 4.9 merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , dan hitam  $\pi_4$ . Dapat disimpulkan bahwa nilai probabilitas  $S_1$  terjadi penurunan,  $S_2, S_3, S_4$  dan  $S_5$  mengalami kenaikan.



**Gambar 4.9** Kurva Produksi Kayu Mahoni pada Pembagian 5 State untuk 4 Periode Berikutnya

Selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran C diperoleh matriks probabilitas transisi n-langkah  $5 \times 5$  pada saat  $n = 2, n = 3$  sampai  $n = 33$  nilai probabilitasnya belum setimbang, akan tetapi

pada  $n = 34$  dan seterusnya *steady state* di  $n = 34$  dengan nilai probabilitasnya sama dan dengan menggunakan persamaan (2.4) didapat :

$$P_{ij}^{34} = \begin{bmatrix} 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \end{bmatrix}$$

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 5 *state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  kemungkinan sebesar 93%,  $S_2$  kemungkinan sebesar 4%,  $S_3$  kemungkinan sebesar 1% ,  $S_4$  1 %, dan  $S_5$  0%. Kemudian pada saat periode 34, produksi kayu Mahoni akan mengalami *steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 34 dan seterusnya tidak akan mengalami perubahan pada hasil prediksi produksi kayu Mahoni.

#### 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Mahoni untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi_1 &= [0.9343 \quad 0.0438 \quad 0.0146 \quad 0.0073 \quad 0] \\ \pi_2 &= [0.8924 \quad 0.0639 \quad 0.0300 \quad 0.0106 \quad 0.0032] \\ \pi_3 &= [0.8632 \quad 0.0757 \quad 0.0409 \quad 0.0138 \quad 0.0064] \\ \pi_4 &= [0.8423 \quad 0.0841 \quad 0.0480 \quad 0.0164 \quad 0.0093] \end{aligned}$$

Tabel 4.29 terlihat bahwa prediksi kayu Mahoni 4 periode kedepan bulan April sampai dengan Mei 2017 berada di interval pertama  $X < 422.958$ , sehingga hasil prediksi dengan data yang ada memiliki kecocokan sebesar 100% saat pembagi 5 *state*.

##### 4.3.3 Prediksi Kayu Sengon

###### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Sengon dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak 174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data didapat selisih nilai maksimal dan minimal adalah 6075.88. Data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 161 data,

$S_2$  sebanyak 11 data,  $S_3$  sebanyak 1 data,  $S_4$  sebanyak 0 data, dan  $S_5$  sebanyak 1 data.

**Tabel 4.29** Nilai Prediksi Kayu Mahoni April Mei 2017 Pembagi 5 *state*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 422.958$	45.82
2	II April 2017	$X < 422.958$	53.53
3	I Mei 2017	$X < 422.958$	0
4	II Mei 2017	$X < 422.958$	76.19

Kemudian pada Tabel 4.30 menjelaskan hasil pembagian 5 *state* dan didapat nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.30** Pembagian 5 *State* dan Probabilitas Kayu Sengon

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 1215.176$	$p_1 = 0.9253$
$S_2$	$[1215.176, 2430.352)$	$p_2 = 0.0632$
$S_3$	$[2430.352, 3645.528)$	$p_3 = 0.0057$
$S_4$	$[3645.528, 4860.704)$	$p_4 = 0$
$S_5$	$X \geq 4860.704$	$p_5 = 0.0057$

## 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 160 data,  $S_2$  sebanyak 11 data,  $S_3$  sebanyak 1 data,  $S_4$  sebanyak 0 data, dan  $S_5$  sebanyak 1 data. Karena pada  $S_4$  0 maka jumlah baris ke-4 matriks probabilitas transisi sama dengan nol, sehingga tidak memenuhi syarat matriks probabilitas transisi. Maka kayu Sengon tidak dapat diprediksi hasil produksi pada periode yang akan datang dengan menggunakan pembagi 5 *state*.

### 4.3.4 Prediksi Kayu Damar

#### 1. Pembentukan Interval serta Penentuan Probabilitas *State*

Pembentukan interval selanjutnya yakni untuk kayu pohon Damar dari Januari 2010 sampai dengan Maret 2017 sebanyak

174 periode dalam memproduksi kayu yang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari data didapat selisih dari nilai maksimal dan minimal adalah 748.88. Selisih tersebut dibagi menjadi 5 untuk mendapatkan interval dari tiap *state*. Data yang termasuk pada  $S_1$  sebanyak 162 data,  $S_2$  sebanyak 2 data,  $S_3$  sebanyak 5 data,  $S_4$  sebanyak 4 data, dan  $S_5$  sebanyak 1 data. Kemudian pada Tabel 4.31 menjelaskan hasil pembagian 5 *state* dan didapat nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan (2.1).

**Tabel 4.31** Pembagian 5 *State* dan Probabilitas Kayu Damar

<i>State</i>	Interval	Nilai Probabilitas
$S_1$	$X < 149.776$	$p_1 = 0.9310$
$S_2$	$[149.776, 229.552)$	$p_2 = 0.0115$
$S_3$	$[229.552, 449.328)$	$p_3 = 0.0287$
$S_4$	$[449.328, 559.104)$	$p_4 = 0.0230$
$S_5$	$X \geq 559.104$	$p_5 = 0.0057$

## 2. Pembentukan Matriks Probabilitas Transisi

Periode II bulan Maret 2017 produksi kayu masuk pada interval  $S_1$  dan tidak ada transisi *state* terakhir, maka data yang termasuk  $S_1$  sebanyak 161 data,  $S_2$  sebanyak 2 data,  $S_3$  sebanyak 5 data,  $S_4$  sebanyak 4 data, dan  $S_5$  sebanyak 1 data. Dari perhitungan pada Tabel 4.32 diperoleh matriks probabilitas transisi *state* yang berukuran  $5 \times 5$  untuk pembagian 5 *state* dan nilai probabilitas transisi didapat dengan menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$P = \begin{pmatrix} 0.9938 & 0 & 0.0062 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5000 & 0 & 0 & 0.5000 \\ 0 & 0.2000 & 0.2000 & 0.6000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7500 & 0.2500 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

## 3. Vektor Probabilitas *State* pada Periode Berikutnya dan Matriks Probabilitas Transisi n-Langkah

Jumlah produksi pada periode 174 berada pada interval  $S_1$  tetapi tidak terdapat informasi berikutnya, sehingga vektor *initial state*  $\pi_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ , diperoleh nilai  $\pi_1$  sebagai berikut  
 $\pi_1 = \pi_0 * P$

$$= [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0.9938 & 0 & 0.0062 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5000 & 0 & 0 & 0.5000 \\ 0 & 0.2000 & 0.2000 & 0.6000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7500 & 0.2500 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= [0.9938 \ 0 \ 0.0062 \ 0 \ 0]$$

**Tabel 4.32** Probabilitas Transisi 5 *State* Kayu Damar

<i>State</i>	Transisi <i>State</i>	Banyak Transisi	Nilai Probabilitas
$S_1$	$S_{11}$	160	$p_{11} = 0.9938$
	$S_{12}$	0	$p_{12} = 0$
	$S_{13}$	1	$p_{13} = 0.0062$
	$S_{14}$	0	$p_{14} = 0$
	$S_{15}$	0	$p_{15} = 0$
$S_2$	$S_{21}$	0	$p_{21} = 0$
	$S_{22}$	1	$p_{22} = 0.5$
	$S_{23}$	0	$p_{23} = 0$
	$S_{24}$	0	$p_{24} = 0$
	$S_{25}$	1	$p_{25} = 0.5$
$S_3$	$S_{31}$	0	$p_{31} = 0$
	$S_{32}$	1	$p_{32} = 0.2$
	$S_{33}$	1	$p_{33} = 0.2$
	$S_{34}$	3	$p_{34} = 0.6$
	$S_{35}$	0	$p_{35} = 0$
$S_4$	$S_{41}$	0	$p_{41} = 0$
	$S_{42}$	0	$p_{42} = 0$
	$S_{43}$	3	$p_{43} = 0.75$
	$S_{44}$	1	$p_{44} = 0.25$
	$S_{45}$	0	$p_{45} = 0$
$S_5$	$S_{51}$	1	$p_{51} = 1$
	$S_{52}$	0	$p_{52} = 0$
	$S_{53}$	0	$p_{53} = 0$
	$S_{54}$	0	$p_{54} = 0$
	$S_{55}$	0	$p_{55} = 0$

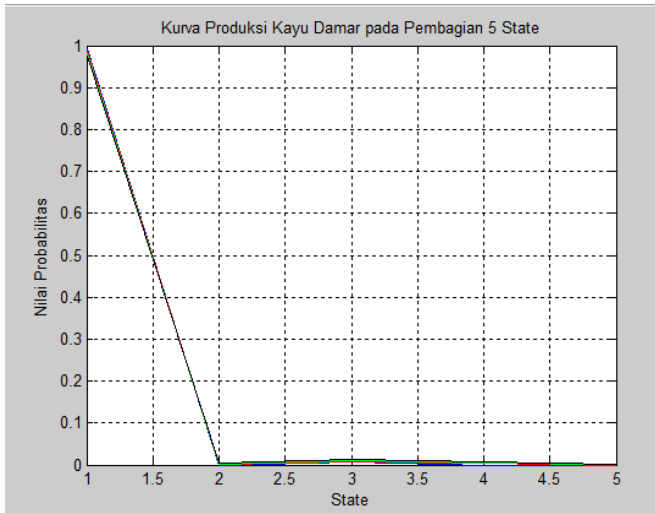
Dengan menggunakan persamaan (2.3), didapat

$$\pi_1 = [0.9938 \ 0 \ 0.0062 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_2 = [0.9876 \ 0.0012 \ 0.0074 \ 0.0037 \ 0]$$

$$\pi_3 = [0.9815 \quad 0.0021 \quad 0.0104 \quad 0.0054 \quad 0.0006]$$

$$\pi_4 = [0.9760 \quad 0.0031 \quad 0.0122 \quad 0.0076 \quad 0.0011]$$



**Gambar 4.10** Kurva Produksi Kayu Damar pada Pembagian 5 State untuk 4 Periode Berikutnya

Pada Gambar 4.10 merupakan kurva hasil dari 4 periode berikutnya dengan menggunakan *software* MATLAB, grafik garis biru adalah  $\pi_1$ , merah  $\pi_2$ , hijau  $\pi_3$ , biru kehijau-hijauan  $\pi_4$ , kuning  $\pi_5$ , dan warna hitam  $\pi_6$ . Maka dapat disimpulkan bahwa nilai probabilitas  $S_1$  terjadi penurunan,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  dan  $S_5$  mengalami kenaikan. Selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran C matriks probabilitas transisi  $n$ -langkah  $5 \times 5$  pada saat  $n = 2, n = 3$  sampai  $n = 113$  nilai probabilitasnya belum setimbang, akan tetapi pada  $n = 114$  dan seterusnya *steady state* di  $n = 114$  dengan nilai probabilitasnya sama dan dengan menggunakan persamaan (2.4) didapat :

$$P_{ij}^{114} = \begin{bmatrix} 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \end{bmatrix}$$

#### 4. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi pembagian 5 *state* dari vektor probabilitas *state*, pada periode selanjutnya akan berada pada  $S_1$  kemungkinan sebesar 99%,  $S_2$  kemungkinan sebesar 0%,  $S_3$  kemungkinan sebesar 1%,  $S_4$  0%, dan  $S_5$  0%. Kemudian pada saat periode 114, produksi kayu Mahoni akan mengalami *steady state* yang menunjukkan suatu kesetimbangan yang dicapai. Periode 114 dan seterusnya tidak akan mengalami perubahan pada hasil prediksi produksi kayu Damar.

#### 5. Validasi Hasil Prediksi

Hasil prediksi kayu Damar untuk 4 periode kedepan sebagai berikut :

$$\pi_1 = [0.9938 \quad 0 \quad 0.0062 \quad 0 \quad 0]$$

$$\pi_2 = [0.9876 \quad 0.0012 \quad 0.0074 \quad 0.0037 \quad 0]$$

$$\pi_3 = [0.9815 \quad 0.0021 \quad 0.0104 \quad 0.0054 \quad 0.0006]$$

$$\pi_4 = [0.9760 \quad 0.0031 \quad 0.0122 \quad 0.0076 \quad 0.0011]$$

Pada Tabel 4.33 merupakan hasil prediksi dan data produksi kayu Damar pada bulan April dan Mei 2017 sebagai berikut :

**Tabel 4.33** Nilai Prediksi Kayu Damar April Mei 2017 Pembagi 5 *state*

No	Bulan	Prediksi	Produksi
1	I April 2017	$X < 149.776$	0
2	II April 2017	$X < 149.776$	206.62
3	I Mei 2017	$X < 149.776$	90.23
4	II Mei 2017	$X < 149.776$	306.36

Tabel 4.33 terlihat bahwa prediksi kayu Damar 4 periode kedepan bulan April sampai dengan Mei 2017 berada di interval pertama  $X < 422.958$ , akan tetapi pada April periode II dan Mei periode II data berada pada interval yang lainnya sehingga hasil prediksi dengan data yang ada memiliki kecocokan sebesar 50% saat pembagi 5 *state*.



## BAB V

### PENUTUP

Kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi pembagian 3 *state*

Hasil prediksi untuk periode selanjutnya prosentase tertinggi pada interval 1 sebagai berikut :

Kayu Pinus : 95%

Kayu Mahoni : 96%

Kayu Sengon : 99%

Kayu Damar : 98%

Prediksi pada pembagi 3 *state* untuk 4 periode kedepan masing-masing kayu memiliki kecocokan 100% terhadap data yang ada, akan tetapi untuk kayu Damar memiliki kecocokan 75% .

2. Hasil simulasi pembagian 4 *state*

Pada prediksi hasil simulasi pembagi 4 *state*, kayu Pinus dan Kayu Mahoni memiliki kecocokan dengan data 100%, untuk kayu Damar 50%.

3. Hasil simulasi pembagian 5 *state*

Dan untuk prediksi hasil simulasi pembagi 5 *state*, kayu Pinus dan Mahoni memiliki kesesuaian 100% dengan data aktualnya, dan kayu Damar memiliki kesesuaian 50%. Kayu Sengon tidak memiliki kesesuaian karena syarat matriks probabilitas transisinya tidak terpenuhi.

Dengan adanya prediksi hasil produksi kayu bundar tersebut diharapkan mampu memberikan informasi yang dapat membantu pihak yang bersangkutan dalam membuat keputusan. Terutama untuk pihak Perhutani maupun pengolah kayu agar dapat mempermudah dalam mengambil kebijakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Website Pusat Studi Ilmu Geografi Indonesia, [www.ilmugeografi.com](http://www.ilmugeografi.com) (diakses 07 Februari 2017)
- [2] Website BUMN Perhutani, [www.bumn.go.id/perhutani.com](http://www.bumn.go.id/perhutani.com) (diakses 07 Februari 2017)
- [3] Website KOMINFO JATIM, [www.kominfo.jatimprov.go.id](http://www.kominfo.jatimprov.go.id) (diakses 10 Maret 2017)
- [4] Website Dinas Kehutanan Kabupaten Malang, [www.kehutan.malangkab.go.id](http://www.kehutan.malangkab.go.id) (diakses 10 Maret 2017)
- [5] Website Badan Pusat Statistik, [www.bps.co.id](http://www.bps.co.id) (diakses 10 Maret 2017)
- [6] Mustakim, dan Saputra, E., 2012. Aplikasi Prediksi Hasil Tanaman Palawija di Kabupaten Indragiri Hilir Menggunakan Metode *Markov Chains*. Jurusan Sistem Infomasi Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Suska. Riau. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, Vol.9.No.2.Hal.50-59
- [7] Permenhut., No:P.50/Menhut-II/2009. Penegasan Status dan Fungsi Kawasan Hutan
- [8] Kulkarni, V.G., 1999. *Modeling, Analysis, Design, and Control of Stochastic System*. University of North Carolina. Chapel Hill, NC
- [9] Nawangsari, S. dkk., 2008. Konsep *Markov Chains* Untuk Menyelesaikan Prediksi Bencana Alam di Wilayah Indonesia dengan Studi Kasus Kotamadya Jakarta Utara. Universitas Gunadarma. *Jurnal Ilmiah Informatika*, Vol:5
- [10] Papoulis, A., 1984. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. 2nd Edition*, Mcgraw Hill. New York
- [11] Howard, A. dan Rorres, C., 2004. Aljabar Linier Elementer versi Aplikasi. Edisi ke -8, jilid 2. Terjemahan Izham Harmein dan Julian Gresdando. Elangga. Jakarta.
- [12] Zhou, Q., 2015. *Application of Weighted Markov Chain in Stock Price Farecasting of China Sport Industri*. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*. Vol.8, No.2, Hal.219-226.

- [13] Ninggar, Khoirun., 2016. Peramalan Pergerakan Harga Saham Perusahaan Go Public Menggunakan Rantai Markov. *Tugas Akhir*. Matematika. FMIPA ITS. Surabaya
- [14] Syafruddin, S. Dkk., 2014. Aplikasi Analisis Rantai Markov untuk Memprediksikan Status Pasien Rumah Sakit Umum Daerah Kabupaten Barru. *Jurnal of Natural Science*. Matematika. FMIPA. Universitas Negeri Makassar. Vol.3(3):313-321
- [15] Halim, S. 2013. Penelitian Operasional Rantai Markov. *Jurnal Teknik Industri*. UK. Petra. Vol.II, Hal.57

## Lampiran

### LAMPIRAN A

Data Produksi Kayu Perum Perhutani KPH Malang Tahun 2010 sampai dengan Maret 2017 tiap setengah bulanan :

No	Bulan	Pinus	Mahoni	Sengon	Damar
1	I Januari 2010	0	0	0	0
2	II Januari 2010	0	0	0	0
3	I Februari 2010	0	0	0	0
4	II Februari 2010	0	0	0	0
5	I Maret 2010	0	0	0	0
6	II Maret 2010	0	0	0	0
7	I April 2010	0	0	0	0
8	II April 2010	0	0	0	0
9	I Mei 2010	0	0	0	0
10	II Mei 2010	0	0	0	0
11	I Juni 2010	79,75	0	0	0
12	II Juni 2010	89,09	0	0	0
13	I Juli 2010	0	47,95	0	0
14	II Juli 2010	192,25	19,31	0	0
15	I Agustus 2010	280,82	1,45	0	0
16	II Agustus 2010	267,2	0	0	0
17	I September 2010	180,85	0	0	0
18	II September 2010	65,58	0	0	0
19	I Oktober 2010	203,07	0	0	0
20	II Oktober 2010	199,31	0	0	0
21	I November 2010	326,14	18,71	86,94	0
22	II November 2010	264,7	0	113,1	0
23	I Desember 2010	165,43	2,74	61,95	0
24	II Desember 2010	64,22	0	186	0

**Lampiran A. Lanjutan**

No	Bulan	Pinus	Mahoni	Sengon	Damar
25	I Januari 2011	0	0	0	0
26	II Januari 2011	0	0	0	0
27	I Februari 2011	0	0	0	0
28	II Februari 2011	0	0	0	0
29	I Maret 2011	0	0	0	0
30	II Maret 2011	0	0	0	0
31	I April 2011	1127,13	0	0	0
32	II April 2011	154,47	0	0	0
33	I Mei 2011	774,78	0	0	0
34	II Mei 2011	745,01	387,9	0	0
35	I Juni 2011	1832,54	805,31	0	353,33
36	II Juni 2011	2015,28	989,11	72,31	553,62
37	I Juli 2011	1230,78	942,23	151,96	511,22
38	II Juli 2011	920,08	934,4	241,63	440,4
39	I Agustus 2011	1662,31	694,33	215,84	414,82
40	II Agustus 2011	643,07	90,06	134,48	556,96
41	I September 2011	809,08	376,27	0	336,77
42	II September 2011	1093,58	773,03	0	462,66
43	I Oktober 2011	917,89	1346,86	4,88	371,33
44	II Oktober 2011	829,17	558,63	0	261,47
45	I November 2011	242,73	145,06	0	190,29
46	II November 2011	1187,46	35,06	5,44	748,88
47	I Desember 2011	0	0	0	0
48	II Desember 2011	0	0	0	0
49	I Januari 2012	0	0	0	0
50	II Januari 2012	0	0	0	0
51	I Februari 2012	71,29	0	14,93	0
52	II Februari 2012	914,07	97,93	87,45	3,83

**Lampiran A. Lanjutan**

No	Bulan	Pinus	Mahoni	Sengon	Damar
53	I Maret 2012	712,67	168,9	31,77	0
54	II Maret 2012	791,23	612,95	0	0
55	I April 2012	457,7	317,93	0	0
56	II April 2012	647,72	265,36	22,21	0
57	I Mei 2012	854,29	405,1	0	0
58	II Mei 2012	718,57	654,74	27,49	0
59	I Juni 2012	454,57	925,75	0	0
60	II Juni 2012	413,77	1396,55	0,69	0
61	I Juli 2012	269,61	1793,15	0	0
62	II Juli 2012	445,96	1556,96	0	0
63	I Agustus 2012	25,08	816,79	0	0
64	II Agustus 2012	99,59	290,79	0	0
65	I September 2012	210,12	1074,38	0	0
66	II September 2012	162,35	1859,37	0	0
67	I Oktober 2012	0	2114,79	0	0
68	II Oktober 2012	0	186,64	0	0
69	I November 2012	0	1291,97	0	0
70	II November 2012	0	455,83	0	0
71	I Desember 2012	0	36,55	0	0
72	II Desember 2012	0	0	0	0
73	I Januari 2013	0	0	0	0
74	II Januari 2013	0	0	0	0
75	I Februari 2013	181,21	740,31	303,15	0
76	II Februari 2013	190,12	1081,14	399,85	0
77	I Maret 2013	161,45	970,08	682,18	0
78	II Maret 2013	404,89	808,51	596,35	0
79	I April 2013	241,7	761,2	307,76	0
80	II April 2013	217,52	241,12	814,13	0

### Lampiran A. Lanjutan

No	Bulan	Pinus	Mahoni	Sengon	Damar
81	I Mei 2013	544,2	1061,58	583,64	0
82	II Mei 2013	162,53	950,2	242,5	52
83	I Juni 2013	194,68	588,34	326,2	33,31
84	II Juni 2013	309,19	314,86	509,51	100,51
85	I Juli 2013	261,29	418,76	334,59	88,89
86	II Juli 2013	237,49	814,11	53,55	5,81
87	I Agustus 2013	218,44	457,93	0	2,01
88	II Agustus 2013	443,54	765,13	83,44	0
89	I September 2013	662,94	1052,02	12,09	0
90	II September 2013	459,83	1016,03	76,74	0
91	I Oktober 2013	537,15	825,24	15,21	0
92	II Oktober 2013	446,77	717,99	739,42	0
93	I November 2013	246,55	563,67	0	0
94	II November 2013	177,34	232,46	0	0
95	I Desember 2013	210,32	145,5	0	0
96	II Desember 2013	0	0	0	0
97	I Januari 2014	0	0	0	0
98	II Januari 2014	0	0	0	0
99	I Februari 2014	0	0	0	0
100	II Februari 2014	0	0	0	0
101	I Maret 2014	37,39	60,65	0	0
102	II Maret 2014	0	0	0	0
103	I April 2014	122,77	112,39	552,99	0
104	II April 2014	357,65	32,33	865,24	0
105	I Mei 2014	446,58	131,49	1222,39	0
106	II Mei 2014	454,96	136,42	1117,67	0
107	I Juni 2014	379,14	131,12	736,92	0
108	II Juni 2014	140,26	46,33	176,54	0



**Lampiran A. Lanjutan**

No	Bulan	Pinus	Mahoni	Sengon	Damar
109	I Juli 2014	380,62	11,08	892,93	0
110	II Juli 2014	203,6	0	259,94	0
111	I Agustus 2014	26,56	0	48,58	0
112	II Agustus 2014	372,27	35,63	283,13	0
113	I September 2014	414,8	54,85	272,58	0
114	II September 2014	417,91	38,02	37,37	0
115	I Oktober 2014	766,23	37,581	119,52	1
116	II Oktober 2014	3,27	0	22,71	0
117	I November 2014	2,77	0	551,08	0
118	II November 2014	0	0	1864,41	0
119	I Desember 2014	0	0	1305,18	0
120	II Desember 2014	0	0	0	0
121	I Januari 2015	0	0	0	0
122	II Januari 2015	0	0	0	0
123	I Februari 2015	0	0	127,81	0
124	II Februari 2015	0	0	453,53	0
125	I Maret 2015	101	5	111	0
126	II Maret 2015	105,33	0	619,19	0
127	I April 2015	163,9	45,2	753,01	0
128	II April 2015	134,21	28,53	484,66	0
129	I Mei 2015	149,58	50,77	97,093	0
130	II Mei 2015	175,55	71,78	1286	0
131	I Juni 2015	1,152	234	6075,88	0
132	II Juni 2015	520,81	0	2481,67	0
133	I Juli 2015	532,72	20,57	958,85	13,84
134	II Juli 2015	161,85	9,32	778,56	14,14
135	I Agustus 2015	315,99	31,7	1389,88	22,4
136	II Agustus 2015	202,02	33,24	1273,41	36,9

### Lampiran A. Lanjutan

No	Bulan	Pinus	Mahoni	Sengon	Damar
137	I September 2015	72,7	0	1534,36	0
138	II September 2015	33,83	0	1256,32	0.88
139	I Oktober 2015	25,37	6,79	349,06	0
140	II Oktober 2015	0	0	0	0
141	I November 2015	0	0	2,81	0
142	II November 2015	34,93	3,81	0	0
143	I Desember 2015	48,14	0	0	0
144	II Desember 2015	0	0	0	0
145	I Januari 2016	0	0	0	0
146	II Januari 2016	0	0	734,94	0
147	I Februari 2016	0	0	858,14	0
148	II Februari 2016	0	0	349,81	0
149	I Maret 2016	0	0	0	0
150	II Maret 2016	0	0	1084,05	0
151	I April 2016	0	0	813,76	0
152	II April 2016	0	0	1888,69	0
153	I Mei 2016	0	0	1377,24	0
154	II Mei 2016	0	0	1399,93	0
155	I Juni 2016	0	0	454,07	0
156	II Juni 2016	0	0	342,66	0
157	I Juli 2016	0	0	88,66	0
158	II Juli 2016	0	0	98,45	0
159	I Agustus 2016	0	0	131,22	0
160	II Agustus 2016	40,83	0	441,23	0
161	I September 2016	82,63	0	955,16	0
162	II September 2016	54,53	0	408,6	0
163	I Oktober 2016	19,54	49,71	99,35	0
164	II Oktober 2016	82,26	61,81	184,21	0

**Lampiran A. Lanjutan**

No	Bulan	Pinus	Mahoni	Sengon	Damar
165	I November 2016	17,53	6,29	330,25	0
166	II November 2016	16,18	0	51,02	0
167	I Desember 2016	0	0	15,49	0
168	II Desember 2016	0	0	0	0
169	I Januari 2017	0	0	0	0
170	II Januari 2017	0	0	188,48	0
171	I Februari 2017	0	0	153,76	0
172	II Februari 2017	0	0	77,36	0
173	I Maret 2017	0	0	19,84	0
174	II Maret 2017	39,93	40,24	0	0
175	I April 2017	209,72	45,82	0	0
176	II April 2017	309,41	53,53	256,6	206,62
177	I Mei 2017	241,64	0	422,27	90,23
178	II Mei 2017	53,87	76,19	773,63	306,36

Sumber : Perhutani KPH Malang

## LAMPIRAN B

### Source Code Matlab

#### 1. Membagi 3 State

```
clear all;
filename = 'data.xlsx';
a = xlsread(filename, 'A:A');      *)
k = 174; %banyak data
max(a); %mencari max
min(a); %mencari min
selisih = max(a) - min(a);
tex1a = sprintf('Max = %f', max(a)); disp(tex1a);
tex1b = sprintf('Min = %f', min(a)); disp(tex1b);
bagistate = input ('Membagi state menjadi (3
    atau 5)= ');
if bagistate == 3
    interval = selisih/bagistate;
    p1 = min(a);
    p2 = min(a)+(interval);
    p3 = min(a)+(interval*2);
    p4 = max(a);
    s1 = sprintf('State 1 < %f', p2); disp(s1);
    s2 = sprintf('State 2 = [%f , %f]', p2, p3);
        disp(s2);
    s3 = sprintf('State 3 >= %f', p3); disp(s3);
    disp('Pengelompokan data ke dalam 3 state : ')
    statel = 0;
    state2 = 0;
    state3 = 0;

    for i = 1:k
        x = a(i);
        if x >= p3
            x = state3; state3 = state3+1;
        elseif x >= p2
            x = state2; state2 = state2+1;
        else
            x = statel; statel = statel+1;
        end
    end
```

```

state33=0;
state32 = 0;
state31 = 0;

for i = 1:(k-1)
    xa = a(i);
    xa1 = a(i+1);
    if (xa>=p3)&&(xa1>=p3)
        xa = state33; state33 = state33+1;
    elseif (xa>=p3)&&(xa1>=p2)
        xa = state32; state32 = state32+1;
    elseif (xa>=p3)&&(xa1>=p1)
        xa = state31; state31 = state31+1;
    else fprintf('');
    end
end

state23 = 0;
state22 = 0;
state21 = 0;

for i = 1:(k-1)
    xb = a(i); xb1 = a(i+1);
    if (xb < p3 && xb>=p2)&&(xb1>=p3)
        xb = state23; state23 = state23+1;
    elseif (xb < p3 && xb>=p2)&&(xb < p3 && xb1>=p2)
        xb = state22; state22 = state22+1;
    elseif (xb < p3 && xb>=p2)&&(xb1>=p1)
        xb = state21; state21 = state21+1;
    else fprintf('');
    end
end

state13 = 0;
state12 = 0;
state11 = 0;
for i = 1:(k-1)
    xc = a(i); xc1 = a(i+1);
    if (xc < p2 && xc>=p1)&&(xc1>=p3)
        xc = state13; state13 = state13+1;

```

```

elseif (xc < p2 && xc >=p1)&&(xc1 < p3 &&
xc1>=p2)
xc = statel2; statel2 = statel2+1;
elseif (xc < p2 && xc >=p1)&&(xc1 < p2 && xc1
>=p1)
xc = statel1; statel1 = statel1+1;
else fprintf('');
end
end

%menghitung n tiap state
fprintf(' p1 = %d |', state1);
fprintf(' p2 = %d |', state2);
pstatetiga = sprintf(' p3 = %d ', state3);
disp(pstatetiga);
%menghitung nilai p11 - p33
p11 = statel1/(state1-1);
p12 = statel2/(state1-1);
p13 = state13/(state1-1);
fprintf(' p11 = %f ---', p11);
fprintf(' p12 = %f ---', p12);
psatutiga = sprintf(' p13 = %f ', p13);
disp(psatutiga);
p21 = state21/state2;
p22 = state22/state2;
p23 = state23/state2;
fprintf(' p21 = %f ---', p21);
fprintf(' p22 = %f ---', p22);
pduatiga = sprintf(' p23 = %f ', p23);
disp(pduatiga);
p31 = state31/state3;
p32 = state32/state3;
p33 = state33/state3;
fprintf(' p31 = %f ---', p31);
fprintf(' p32 = %f ---', p32);
ptigatiga = sprintf(' p33 = %f ', p33);
disp(ptigatiga);
%matricks probabilitas transisi
matrikspt = [p11 p12 p13 ; p21 p22 p23 ; p31 p32
p33]
banyak = statel+state2+state3;

```

```

instate0 = [1 0 0]%initial state
end
r1 = instate0*matrikspt;
r2 = r1*matrikspt;
r3 = r2*matrikspt;
r4 = r3*matrikspt;

disp(r1);
disp(r2);
disp(r3);
disp(r4);
x=1:3;
y1=r1;
y2=r2;
y3=r3;
y4=r4;
plot(x,y1,'b'); %blue
hold on;
plot(x,y2,'r'); %red
hold on;
plot(x,y3,'g'); %green
hold on;
plot(x,y4,'k'); %black
hold on;
xlabel('State'), ylabel('Nilai Probabilitas')
title('Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian
3 State')
grid on

```

\*) Dengan cara yang sama, untuk kayu Mahoni, Sengon, dan Damar hanya mengganti input data.

## 2. Membagi 4State

```

clear all;
filename = 'data.xlsx';
a = xlsread(filename,'A:A');      *)
k = 174; %banyak data
max(a);%mencari max
min(a);%mencari min
selisih = max(a) - min(a);
tex1a = sprintf('Max = %f',max(a)); disp(tex1a);
tex1b = sprintf('Min = %f',min(a)); disp(tex1b);

```

```

bagistate = input ('Membagi state menjadi (3
    atau 4)= ');
if bagistate == 4
    interval = selisih/bagistate;
    p1 = min(a);
    p2 = min(a)+(interval);
    p3 = min(a)+(interval*2);
    p4 = min(a)+(interval*3);
    p5 = max(a);

    s1 = sprintf('State 1 < %f',p2); disp(s1);
    s2 = sprintf('State 2 = [%f , %f]',p2,p3);
        disp(s2);
    s3 = sprintf('State 3 = [%f , %f]',p3,p4);
        disp(s3);
    s4 = sprintf('State 4 >=_%f',p4); disp(s4);
    disp('Pengelompokan data ke dalam 4 state : ')
    state1 =0; state2 = 0; state3 = 0; state4 = 0;
    for i = 1:k
        x = a(i);
        if x>=p4
            x = state4; state4 = state4+1;
        elseif x>=p3
            x = state3; state3 = state3+1;
        elseif x>=p2
            x = state2; state2 = state2+1;
        else
            x = state1; state1 = state1+1;
        end
    end
    state44 = 0;
    state43 = 0;
    state42 = 0;
    state41 = 0;

    for i = 1:(k-1)
        xa = a(i);
        xa1 = a(i+1);
        if (xa>=p4)&&(xa1>=p4)
            xa = state44; state44 = state44+1;
        elseif (xa>=p4)&&(xa1>=p3)

```



```

        xa = state43; state43 = state43+1;
elseif (xa>=p4)&&(xa1>=p2)
    xa = state42; state42 = state42+1;
elseif (xa>=p4)&&(xa1>=p1)
    xa = state41; state41 = state41+1;
else fprintf('');
end
end

```

```

state34 = 0;
state33 = 0;
state32 = 0;
state31 = 0;

```

```

for i = 1:(k-1)
    xc = a(i); xc1 = a(i+1);
if (xc < p4 && xc>=p3)&&(xc1>=p4)
    xc = state34; state34 = state34+1;
elseif (xc < p4 && xc >=p3)&&(xc1 < p4 &&
    xc1>=p3)
    xc = state33; state33 = state33+1;
elseif (xc < p4 && xc >=p3)&&(xc1 < p3 && xc1
    >=p2)
    xc = state32; state32 = state32+1;
elseif (xc < p4 && xc >=p3)&& (xc1 >=p1)
    xc = state31; state31 = state31+1;
else fprintf('');
end
end
state24 = 0;
state23 = 0;
state22 = 0;
state21 = 0;

```

```

for i = 1:(k-1)
    xd = a(i); xd1 = a(i+1);
if (xd < p3 && xd>=p2)&&(xd1>=p4)
    xd = state24; state24 = state24+1;
elseif (xd < p3 && xd>=p2)&&(xd1 < p4 &&
    xd1>=p3)

```

```

        xd = state23; state23 = state23+1;
elseif (xd < p3 && xd>=p2)&&(xd1 < p3 &&
        xd1>=p2)
        xd = state22; state22 = state22+1;
elseif (xd< p3 && xd>=p2)&& (xd1>=p1)
        xd = state21; state21 = state21+1;
else fprintf('');
end
end
state14 = 0;
state13 = 0;
state12 = 0;
state11 = 0;
for i = 1:(k-1)
        xe = a(i); xe1 = a(i+1);
if (xe < p2 && xe>=p1)&&(xe1>=p4)
        xe = state14; state14 = state14+1;
elseif (xe < p2 && xe>=p1)&&(xe1 < p4 &&
        xe1>=p3)
        xe = state13; state13 = state13+1;
elseif (xe < p2 && xe>=p1)&&(xe1 < p3 &&
        xe1>=p2)
        xe = state12; state12 = state12+1;
elseif (xe < p2 && xe>=p1)&& (xe1 < p2 &&
        xe1>=p1)
        xe = state11; state11 = state11+1;
else fprintf('');
end
end
%menghitung n tiap state
fprintf(' p1 = %d |', state1);
fprintf(' p2 = %d |', state2);
fprintf(' p3 = %d |', state3);
pstateempat = sprintf(' p4 = %d ', state4);
disp(pstateempat);

%menghitung nilai p11 - p55
p11 = state11/(state1-1);
p12 = state12/(state1-1);
p13 = state13/(state1-1);
p14 = state14/(state1-1);
fprintf(' p11 = %f ---', p11);

```

```

fprintf(' p12 = %f ---', p12);
fprintf(' p13 = %f ---', p13);
psatuempat = sprintf(' p14 = %f ', p14);
disp(psatuempat);
p21 = state21/state2;
p22 = state22/state2;
p23 = state23/state2;
p24 = state24/state2;
fprintf(' p21 = %f ---', p21);
fprintf(' p22 = %f ---', p22);
fprintf(' p23 = %f ---', p23);
pduaempat = sprintf(' p24 = %f ', p24);
disp(pduaempat);
p31 = state31/state3;
p32 = state32/state3;
p33 = state33/state3;
p34 = state34/state3;
fprintf(' p31 = %f ---', p31);
fprintf(' p32 = %f ---', p32);
fprintf(' p33 = %f ---', p33);
ptigaempat = sprintf(' p34 = %f ', p34);
disp(ptigaempat);
p41 = state41/state4;
p42 = state42/state4;
p43 = state43/state4;
p44 = state44/state4;
fprintf(' p41 = %f ---', p41);
fprintf(' p42 = %f ---', p42);
fprintf(' p43 = %f ---', p43);
pempatempat = sprintf(' p44 = %f ', p44);
disp(pempatempat);
%matricks probabilitas transisi
matrikspt = [p11 p12 p13 p14; p21 p22 p23 p24;
             p31 p32 p33 p34; p41 p42 p43 p44]
banyak = state1+state2+state3+state4;
instate0 = [1 0 0 0]%initial state
end

r1 = instate0*matrikspt;
r2 = r1*matrikspt;
r3 = r2*matrikspt;

```

```

r4 = r3*matrikspt;
disp(r1);
disp(r2);
disp(r3);
disp(r4);
x=1:4;
y1=r1;
y2=r2;
y3=r3;
y4=r4;
plot(x,y1,'b'); %blue
hold on;
plot(x,y2,'r'); %red
hold on;
plot(x,y3,'g'); %green
hold on;
plot(x,y4,'k'); %black
hold on;
xlabel('State'), ylabel('Nilai Probabilitas')
title('Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian
4 State')
grid on

```

\*) Dengan cara yang sama, untuk kayu Mahoni, Sengon, dan Damar hanya mengganti input data.

### 3. Membagi 5 State

```

clear all;
filename = 'data.xlsx';
a = xlsread(filename,'A:A');      *)
k = 174; %banyak data
max(a); %mencari max
min(a); %mencari min
selisih = max(a) - min(a);
tex1a = sprintf('Max = %f',max(a)); disp(tex1a);
tex1b = sprintf('Min = %f',min(a)); disp(tex1b);
bagistate = input ('Membagi state menjadi (3
atau 5)= ');
if bagistate == 5
interval = selisih/bagistate;
p1 = min(a);
p2 = min(a)+(interval);

```

```

p3 = min(a)+(interval*2);
p4 = min(a)+(interval*3);
p5 = min(a)+(interval*4);
p6 = max(a);
s1 = sprintf('State 1 < %f',p2); disp(s1);
s2 = sprintf('State 2 = [%f , %f]',p2,p3);
    disp(s2);
s3 = sprintf('State 3 = [%f , %f]',p3,p4);
    disp(s3);
s4 = sprintf('State 4 = [%f , %f]',p4,p5);
    disp(s4);
s5 = sprintf('State 5 >=_ %f',p5); disp(s5);
disp('Pengelompokan data ke dalam 5 state : ')
state1 =0; state2 = 0; state3 = 0; state4 = 0;
    state5 = 0;
for i = 1:k
    x = a(i);
    if x>=p5
x = state5; state5 = state5+1;
elseif x>=p4
x = state4; state4 = state4+1;
elseif x>=p3
x = state3; state3 = state3+1;
elseif x>=p2
x = state2; state2 = state2+1;
else
x = state1; state1 = state1+1;
end
end
state55=0;
state54 = 0;
state53 = 0;
state52 = 0;
state51 = 0;
for i = 1:(k-1)
    xa = a(i);
    xa1 = a(i+1);
    if (xa>=p5)&&(xa1>=p5)
        xa = state55; state55 = state55+1;
    elseif (xa>=p5)&&(xa1>=p4)
        xa = state54; state54 = state54+1;

```

```

elseif (xa>=p5)&&(xa1>=p3)
    xa = state53; state53 = state53+1;
elseif (xa>=p5)&&(xa1>=p2)
    xa = state52; state52 = state52+1;
elseif (xa>=p5)&&(xa1>=p1)
    xa = state51; state51 = state51+1;
else fprintf('');
end
end
state45 = 0;
state44 = 0;
state43 = 0;
state42 = 0;
state41 = 0;
for i = 1:(k-1)
    xb = a(i); xb1 = a(i+1);
if (xb < p5 && xb>=p4)&&(xb1>=p5)
    xb = state45; state45 = state45+1;
elseif (xb < p5 && xb>=p4)&&(xb < p5 && xb1>=p4)
    xb = state44; state44 = state44+1;
elseif (xb < p5 && xb>=p4)&&(xb1>=p3)
    xb = state43; state43 = state43+1;
elseif (xb < p5 && xb>=p4)&&(xb1>=p2)
    xb = state42; state42 = state42+1;
elseif (xb < p5 && xb>=p4)&&(xb1>=p1)
    xb = state41; state41 = state41+1;
else fprintf('');
end
end
state35 = 0;
state34 = 0;
state33 = 0;
state32 = 0;
state31 = 0;
for i = 1:(k-1)
    xc = a(i); xc1 = a(i+1);
if (xc < p4 && xc>=p3)&&(xc1>=p5)
    xc = state35; state35 = state35+1;
elseif (xc < p4 && xc >=p3)&&(xc1 < p5 &&
    xc1>=p4)
    xc = state34; state34 = state34+1;

```

```

elseif (xc < p4 && xc >=p3)&&(xc1 < p4 && xc1
    >=p3)
    xc = state33; state33 = state33+1;
elseif (xc < p4 && xc >=p3)&&(xc1 >=p2)
    xc = state32; state32 = state32+1;
elseif (xc < p4 && xc >=p3)&& (xc1 >=p1)
    xc = state31; state31 = state31+1;
else fprintf('');
end
end
state25 = 0;
state24 = 0;
state23 = 0;
state22 = 0;
state21 = 0;
for i = 1:(k-1)
    xd = a(i); xd1 = a(i+1);
if (xd < p3 && xd>=p2)&&(xd1>=p5)
    xd = state25; state25 = state25+1;
elseif (xd < p3 && xd>=p2)&&(xd1 < p5 &&
    xd1>=p4)
    xd = state24; state24 = state24+1;
elseif (xd < p3 && xd>=p2)&&(xd1 < p4 &&
    xd1>=p3)
    xd = state23; state23 = state23+1;
elseif (xd < p3 && xd>=p2)&&(xd1 < p3 &&
    xd1>=p2)
    xd = state22; state22 = state22+1;
    elseif (xd< p3 && xd>=p2)&& (xd1>=p1)
        xd = state21; state21 = state21+1;
else fprintf('');
end
end
state15 = 0;
state14 = 0;
state13 = 0;
state12 = 0;
state11 = 0;
for i = 1:(k-1)
    xe = a(i); xe1 = a(i+1);
if (xe < p2 && xe>=p1)&&(xe1>=p5)

```

```

        xe = statel5; statel5 = statel5+1;
elseif (xe < p2 && xe>=p1)&&(xel < p5 &&
    xel>=p4)
    xe = statel4; statel4 = statel4+1;
elseif (xe < p2 && xe>=p1)&&(xel < p4 &&
    xel>=p3)
    xe = statel3; statel3 = statel3+1;
elseif (xe < p2 && xe>=p1)&&(xel < p3 &&
    xel>=p2)
    xe = statel2; statel2 = statel2+1;
elseif (xe < p2 && xe>=p1)&& (xel < p2 &&
    xel>=p1)
    xe = statel1; statel1 = statel1+1;
else fprintf('');
end
end
%menghitung n tiap state
fprintf(' p1 = %d |', statel1);
fprintf(' p2 = %d |', state2);
fprintf(' p3 = %d |', state3);
fprintf(' p4 = %d |', state4);
pstatelima = sprintf(' p5 = %d ', state5);
disp(pstatelima);
%menghitung nilai p11 - p55
p11 = statel1/(statel1-1);
p12 = statel2/(statel1-1);
p13 = statel3/(statel1-1);
p14 = statel4/(statel1-1);
p15 = statel5/(statel1-1);
fprintf(' p11 = %f ---', p11);
fprintf(' p12 = %f ---', p12);
fprintf(' p13 = %f ---', p13);
fprintf(' p14 = %f ---', p14);
psatulima = sprintf(' p15 = %f ', p15);
disp(psatulima);
p21 = state21/state2;
p22 = state22/state2;
p23 = state23/state2;
p24 = state24/state2;
p25 = state25/state2;
fprintf(' p21 = %f ---', p21);

```



```

fprintf(' p22 = %f ---', p22);
fprintf(' p23 = %f ---', p23);
fprintf(' p24 = %f ---', p24);
pdualima = sprintf(' p25 = %f ', p25);
disp(pdualima);
p31 = state31/state3;
p32 = state32/state3;
p33 = state33/state3;
p34 = state34/state3;
p35 = state35/state3;
fprintf(' p31 = %f ---', p31);
fprintf(' p32 = %f ---', p32);
fprintf(' p33 = %f ---', p33);
fprintf(' p34 = %f ---', p34);
ptigalima = sprintf(' p35 = %f ', p35);
disp(ptigalima);
p41 = state41/state4;
p42 = state42/state4;
p43 = state43/state4;
p44 = state44/state4;
p45 = state45/state4;
fprintf(' p41 = %f ---', p41);
fprintf(' p42 = %f ---', p42);
fprintf(' p43 = %f ---', p43);
fprintf(' p44 = %f ---', p44);
pempatlima = sprintf(' p45 = %f ', p45);
disp(pempatlima);
p51 = state51/state5;
p52 = state52/state5;
p53 = state53/state5;
p54 = state54/state5;
p55 = state55/state5;
fprintf(' p51 = %f ---', p51);
fprintf(' p52 = %f ---', p52);
fprintf(' p53 = %f ---', p53);
fprintf(' p54 = %f ---', p54);
plimalima = sprintf(' p55 = %f ', p55);
disp(plimalima);
%matriks probabilitas transisi
matrikspt = [p11 p12 p13 p14 p15; p21 p22 p23
             p24 p25;

```

```

        p31 p32 p33 p34 p35;p41 p42 p43 p44 p45;
        p51 p52 p53 p54 p55]
banyak = state1+state2+state3+state4+state5;
instate0 = [1 0 0 0 0]%initial state
end

r1 = instate0*matrikspt;
r2 = r1*matrikspt;
r3 = r2*matrikspt;
r4 = r3*matrikspt;
disp(r1);
disp(r2);
disp(r3);
disp(r4);
x=1:5;
y1=r1;
y2=r2;
y3=r3;
y4=r4;
plot(x,y1,'b'); %blue
hold on;
plot(x,y2,'r'); %red
hold on;
plot(x,y3,'g'); %green
hold on;
plot(x,y4,'k'); %black
hold on;
xlabel('State'), ylabel('Nilai Probabilitas')
title('Kurva Produksi Kayu Pinus pada Pembagian
5 State')
grid on

```

\*) Dengan cara yang sama, untuk kayu Mahoni, Sengon, dan Damar hanya mengganti input data.

## LAMPIRAN C

### Matriks Probabilitas Transisi n-Langkah

#### 1. Pembagi 3 *State*

##### a. Kayu Pinus

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{pmatrix} 0.9545 & 0.0455 & 0 \\ 0.375 & 0.5000 & 0.125 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix} & P^2 &= \begin{pmatrix} 0.9282 & 0.0661 & 0.0057 \\ 0.5871 & 0.3087 & 0.1042 \\ 0.5543 & 0.2929 & 0.1528 \end{pmatrix} \\
 P^3 &= \begin{pmatrix} 0.9127 & 0.0771 & 0.0102 \\ 0.7109 & 0.2158 & 0.0733 \\ 0.6899 & 0.2226 & 0.0875 \end{pmatrix} & P^4 &= \begin{pmatrix} 0.9035 & 0.0834 & 0.0130 \\ 0.7840 & 0.1646 & 0.0514 \\ 0.7712 & 0.1718 & 0.0570 \end{pmatrix} \\
 P^5 &= \begin{pmatrix} 0.8981 & 0.0871 & 0.0148 \\ 0.8272 & 0.1351 & 0.0377 \\ 0.8195 & 0.1400 & 0.0405 \end{pmatrix} & P^6 &= \begin{pmatrix} 0.8949 & 0.0893 & 0.0158 \\ 0.8528 & 0.1177 & 0.0295 \\ 0.8483 & 0.1207 & 0.0310 \end{pmatrix} \\
 &\vdots & & \vdots \\
 P^{20} &= \begin{pmatrix} 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8901 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8901 & 0.0925 & 0.0174 \end{pmatrix} \\
 P^{21} &= \begin{pmatrix} 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \end{pmatrix} & P^{22} &= \begin{pmatrix} 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \\ 0.8902 & 0.0925 & 0.0173 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

##### b. Kayu Mahoni

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{pmatrix} 0.9379 & 0.0621 & 0 \\ 0.3333 & 0.5833 & 0.0833 \\ 0.2500 & 0.2500 & 0.5000 \end{pmatrix} & P^2 &= \begin{pmatrix} 0.9004 & 0.0944 & 0.0052 \\ 0.5279 & 0.3818 & 0.0903 \\ 0.4428 & 0.2864 & 0.5208 \end{pmatrix} \\
 P^3 &= \begin{pmatrix} 0.8773 & 0.1123 & 0.0105 \\ 0.6450 & 0.2781 & 0.0770 \\ 0.5785 & 0.2662 & 0.1593 \end{pmatrix} & P^4 &= \begin{pmatrix} 0.8629 & 0.1226 & 0.0146 \\ 0.7169 & 0.2215 & 0.0616 \\ 0.6698 & 0.2287 & 0.1015 \end{pmatrix} \\
 P^5 &= \begin{pmatrix} 0.8538 & 0.1287 & 0.0175 \\ 0.7616 & 0.1891 & 0.0493 \\ 0.7298 & 0.2004 & 0.0698 \end{pmatrix} & P^6 &= \begin{pmatrix} 0.8481 & 0.1324 & 0.0195 \\ 0.7897 & 0.1699 & 0.0404 \\ 0.7688 & 0.1796 & 0.0516 \end{pmatrix} \\
 &\vdots & & \vdots \\
 P^{33} &= \begin{pmatrix} 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8381 & 0.1387 & 0.0231 \end{pmatrix} \\
 P^{34} &= \begin{pmatrix} 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \end{pmatrix} & P^{35} &= \begin{pmatrix} 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \\ 0.8382 & 0.1387 & 0.0231 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

##### c. Kayu Sengon

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{pmatrix} 0.9942 & 0 & 0.0058 \\ 1.0000 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0000 & 0 \end{pmatrix} & P^2 &= \begin{pmatrix} 0.9883 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9942 & 0 & 0.0058 \\ 1.0000 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 P^3 &= \begin{pmatrix} 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9883 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9942 & 0 & 0.0058 \end{pmatrix} & P^4 &= \begin{pmatrix} 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9883 & 0.0058 & 0.0058 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{P}^5 = \begin{pmatrix} 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \end{pmatrix} \quad \mathbf{P}^6 = \begin{pmatrix} 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \\ 0.9884 & 0.0058 & 0.0058 \end{pmatrix}$$

d. Kayu Damar

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0.9877 & 0.0062 & 0.0062 \\ 0.1429 & 0.5714 & 0.2857 \\ 0.2500 & 0.5000 & 0.2500 \end{pmatrix} \quad \mathbf{P}^2 = \begin{pmatrix} 0.9780 & 0.0128 & 0.0094 \\ 0.2942 & 0.4702 & 0.2356 \\ 0.3809 & 0.4123 & 0.2069 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^3 = \begin{pmatrix} 0.9701 & 0.0181 & 0.0121 \\ 0.4167 & 0.3883 & 0.1951 \\ 0.4868 & 0.3414 & 0.1719 \end{pmatrix} \quad \mathbf{P}^4 = \begin{pmatrix} 0.9638 & 0.0224 & 0.0142 \\ 0.5158 & 0.3220 & 0.1623 \\ 0.5726 & 0.2840 & 0.1435 \end{pmatrix}$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$\mathbf{P}^{100} = \begin{pmatrix} 0.9450 & 0.0410 & 0.0234 \\ 0.9445 & 0.0410 & 0.0234 \\ 0.9446 & 0.0410 & 0.0234 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^{150} = \begin{pmatrix} 0.9495 & 0.0412 & 0.0235 \\ 0.9490 & 0.0412 & 0.0235 \\ 0.9490 & 0.0412 & 0.0235 \end{pmatrix} \quad \mathbf{P}^{1000} = \begin{pmatrix} 1.0281 & 0.0446 & 0.0255 \\ 1.0275 & 0.0446 & 0.0255 \\ 1.0276 & 0.0446 & 0.0255 \end{pmatrix}$$

## 2. Pembagi 4 State

a. Kayu Pinus

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0.9320 & 0.0544 & 0.0136 & 0 \\ 0.4211 & 0.4211 & 0.0526 & 0.1053 \\ 0.5000 & 0.5000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^2 = \begin{pmatrix} 0.8983 & 0.0804 & 0.0155 & 0.0057 \\ 0.5960 & 0.2616 & 0.0630 & 0.0794 \\ 0.6765 & 0.2377 & 0.0331 & 0.0526 \\ 0.3070 & 0.4181 & 0.1287 & 0.1462 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^3 = \begin{pmatrix} 0.8788 & 0.0924 & 0.0184 & 0.0104 \\ 0.6971 & 0.2005 & 0.0483 & 0.0540 \\ 0.7472 & 0.1710 & 0.0393 & 0.0426 \\ 0.5265 & 0.3058 & 0.0749 & 0.0927 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^4 = \begin{pmatrix} 0.8671 & 0.0994 & 0.0203 & 0.0132 \\ 0.7583 & 0.1646 & 0.0380 & 0.0391 \\ 0.7880 & 0.1465 & 0.0334 & 0.0322 \\ 0.6569 & 0.2258 & 0.0542 & 0.0631 \end{pmatrix}$$

$$\vdots$$

$$\mathbf{P}^{20} = \begin{pmatrix} 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1099 & 0.0231 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^{21} = \begin{pmatrix} 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^{22} = \begin{pmatrix} 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.8497 & 0.1098 & 0.0231 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

b. Kayu Mahoni

$$P = \begin{pmatrix} 0.9281 & 0.0504 & 0.0216 & 0 \\ 0.3333 & 0.5417 & 0.1250 & 0 \\ 0.1429 & 0.5714 & 0 & 0.2857 \\ 0.3333 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0.8812 & 0.0863 & 0.0263 & 0.0062 \\ 0.5078 & 0.3816 & 0.0749 & 0.0357 \\ 0.4183 & 0.3167 & 0.1697 & 0.0952 \\ 0.4681 & 0.2073 & 0.1183 & 0.2063 \end{pmatrix}$$

$$P^3 = \begin{pmatrix} 0.8524 & 0.1062 & 0.0319 & 0.0096 \\ 0.6210 & 0.2751 & 0.0706 & 0.0333 \\ 0.5498 & 0.2896 & 0.0804 & 0.0802 \\ 0.5892 & 0.2034 & 0.1048 & 0.1026 \end{pmatrix}$$

$$P^4 = \begin{pmatrix} 0.8342 & 0.1187 & 0.0349 & 0.0123 \\ 0.6892 & 0.2206 & 0.0589 & 0.0313 \\ 0.6450 & 0.2305 & 0.0748 & 0.0497 \\ 0.6638 & 0.1998 & 0.0723 & 0.0641 \end{pmatrix}$$

⋮

$$P^{23} = \begin{pmatrix} 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8034 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8034 & 0.1387 & 0.0504 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

$$P^{24} = \begin{pmatrix} 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0504 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

$$P^{25} = \begin{pmatrix} 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0405 & 0.0173 \\ 0.8035 & 0.1387 & 0.0504 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

c. Kayu Damar

$$P = \begin{pmatrix} 0.9938 & 0.0062 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 0 & 0.3333 & 0.6667 & 0 \\ 1.0000 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0.9876 & 0.0086 & 0.0025 & 0.0012 \\ 0.2000 & 0.2933 & 0.4267 & 0.0800 \\ 0 & 0.3555 & 0.5778 & 0.0667 \\ 0.9938 & 0.0062 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^3 = \begin{pmatrix} 0.9828 & 0.0104 & 0.0051 & 0.0017 \\ 0.2788 & 0.2608 & 0.4018 & 0.0587 \\ 0.0667 & 0.3348 & 0.5274 & 0.0711 \\ 0.9876 & 0.0086 & 0.0025 & 0.0012 \end{pmatrix}$$

$$P^4 = \begin{pmatrix} 0.9784 & 0.0120 & 0.0076 & 0.0021 \\ 0.3357 & 0.2400 & 0.3722 & 0.0522 \\ 0.1374 & 0.3101 & 0.4856 & 0.0670 \\ 0.9828 & 0.0104 & 0.0051 & 0.0017 \end{pmatrix}$$

⋮

$$\begin{aligned}
\mathbf{p}^{126} &= \begin{pmatrix} 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \end{pmatrix} \\
\mathbf{p}^{127} &= \begin{pmatrix} 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \end{pmatrix} \\
\mathbf{p}^{128} &= \begin{pmatrix} 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0289 & 0.0346 & 0.0058 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

### 3. Pembagi 5 *State*

#### a. Kayu Pinus

$$\begin{aligned}
\mathbf{P} &= \begin{pmatrix} 0.9185 & 0.0593 & 0.0222 & 0 & 0 \\ 0.3200 & 0.5600 & 0.0800 & 0 & 0.0400 \\ 0.3333 & 0.2222 & 0.3333 & 0 & 0.1111 \\ 0 & 0 & 1.0000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix} \\
\mathbf{P}^2 &= \begin{pmatrix} 0.8700 & 0.0926 & 0.0326 & 0 & 0.0048 \\ 0.4998 & 0.3637 & 0.0786 & 0.0133 & 0.0446 \\ 0.4884 & 0.2553 & 0.1363 & 0.0370 & 0.0830 \\ 0.3333 & 0.2222 & 0.3333 & 0 & 0.1111 \\ 0.1067 & 0.2978 & 0.3600 & 0.1111 & 0.1244 \end{pmatrix} \\
\mathbf{P}^3 &= \begin{pmatrix} 0.8396 & 0.1122 & 0.0376 & 0.0016 & 0.0089 \\ 0.6016 & 0.2656 & 0.0797 & 0.0149 & 0.0382 \\ 0.5757 & 0.2299 & 0.1137 & 0.0277 & 0.0530 \\ 0.4884 & 0.2553 & 0.1363 & 0.0370 & 0.0830 \\ 0.3133 & 0.2946 & 0.0415 & 0.0415 & 0.0934 \end{pmatrix} \\
\mathbf{P}^4 &= \begin{pmatrix} 0.8197 & 0.1239 & 0.0418 & 0.0030 & 0.0116 \\ 0.6642 & 0.2148 & 0.0761 & 0.0127 & 0.0322 \\ 0.6403 & 0.2058 & 0.0968 & 0.0177 & 0.0395 \\ 0.5757 & 0.2299 & 0.1137 & 0.0277 & 0.0530 \\ 0.4678 & 0.2718 & 0.1578 & 0.0311 & 0.0715 \end{pmatrix} \\
&\vdots \\
\mathbf{P}^{27} &= \begin{pmatrix} 0.7804 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \end{pmatrix} \\
\mathbf{P}^{28} &= \begin{pmatrix} 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

$$\mathbf{P}^{29} = \begin{pmatrix} 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \\ 0.7803 & 0.1445 & 0.0520 & 0.0058 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

b. Kayu Mahoni

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0.9343 & 0.0438 & 0.0146 & 0.0073 & 0 \\ 0.4444 & 0.2778 & 0.2222 & 0.0556 & 0 \\ 0 & 0.3636 & 0.4545 & 0.0909 & 0.0909 \\ 0 & 0.7500 & 0 & 0 & 0.2500 \\ 0.3333 & 0 & 0 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^2 = \begin{pmatrix} 0.8924 & 0.0639 & 0.0300 & 0.0106 & 0.0032 \\ 0.5387 & 0.2191 & 0.1692 & 0.0389 & 0.0341 \\ 0.1919 & 0.3345 & 0.2874 & 0.0918 & 0.0944 \\ 0.4167 & 0.2084 & 0.1667 & 0.1250 & 0.0833 \\ 0.4225 & 0.2646 & 0.0049 & 0.1135 & 0.1944 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^3 = \begin{pmatrix} 0.8632 & 0.0757 & 0.0409 & 0.0138 & 0.0064 \\ 0.6131 & 0.1751 & 0.1335 & 0.0429 & 0.0365 \\ 0.3594 & 0.2747 & 0.2078 & 0.0776 & 0.0805 \\ 0.5097 & 0.2305 & 0.1281 & 0.0575 & 0.0742 \\ 0.5772 & 0.1789 & 0.0672 & 0.0830 & 0.0936 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^4 = \begin{pmatrix} 0.8423 & 0.0841 & 0.0480 & 0.0164 & 0.0093 \\ 0.6618 & 0.1561 & 0.1085 & 0.0385 & 0.0350 \\ 0.4847 & 0.2258 & 0.1607 & 0.0636 & 0.0651 \\ 0.6033 & 0.1761 & 0.1169 & 0.0529 & 0.0508 \\ 0.6500 & 0.1617 & 0.0787 & 0.0515 & 0.0581 \end{pmatrix}$$

$\vdots$

$$\mathbf{P}^{33} = \begin{pmatrix} 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1041 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^{34} = \begin{pmatrix} 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^{35} = \begin{pmatrix} 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \\ 0.7919 & 0.1040 & 0.0636 & 0.0231 & 0.0173 \end{pmatrix}$$

c. Kayu Damar

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0.9938 & 0 & 0.0062 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5000 & 0 & 0 & 0.5000 \\ 0 & 0.2000 & 0.2000 & 0.6000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7500 & 0.2500 & 0 \\ 1.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^2 = \begin{pmatrix} 0.9876 & 0.0012 & 0.0074 & 0.0037 & 0 \\ 0.5000 & 0.2500 & 0 & 0 & 0.2500 \\ 0 & 0.1400 & 0.4900 & 0.2700 & 0.1000 \\ 0 & 0.1500 & 0.3375 & 0.5125 & 0 \\ 0.9938 & 0 & 0.0062 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^3 = \begin{pmatrix} 0.9815 & 0.0021 & 0.0104 & 0.0054 & 0.0006 \\ 0.7469 & 0.1250 & 0.0031 & 0 & 0.1250 \\ 0.1000 & 0.1680 & 0.3005 & 0.3615 & 0.0700 \\ 0 & 0.1425 & 0.4519 & 0.3306 & 0.0750 \\ 0.9876 & 0.0012 & 0.0074 & 0.0037 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^4 = \begin{pmatrix} 0.9760 & 0.0031 & 0.0122 & 0.0076 & 0.0011 \\ 0.8673 & 0.0631 & 0.0053 & 0.0019 & 0.0625 \\ 0.1694 & 0.1441 & 0.3318 & 0.2707 & 0.0840 \\ 0.0750 & 0.1616 & 0.3383 & 0.3538 & 0.0713 \\ 0.9815 & 0.0021 & 0.0104 & 0.0054 & 0.0006 \end{pmatrix}$$

⋮

$$\mathbf{P}^{113} = \begin{pmatrix} 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9307 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^{114} = \begin{pmatrix} 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^{115} = \begin{pmatrix} 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \\ 0.9308 & 0.0115 & 0.0289 & 0.0231 & 0.0058 \end{pmatrix}$$



## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama Ikhtiyari Navila Rizanti lahir di Jember, 7 November 1995. Penulis merupakan anak kedua dari lima bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dari TK Raudlotul Azhar 02 Semboro Jember. SDN Semboro 04 Semboro Jember. SMP Islam Al-Ma'arif 02 Singosari Malang. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan jenjang SMA di SMA Darul Ulum 1 Peterongan Jombang. Setelah lulus Sma penulis melanjutkan studi ke jenjang S1 di Departemen Matematika FMIPA ITS Surabaya pada tahun 2013. Selama menempuh studi di ITS penulis pernah menjadi Tim Konseptor OMITS. Komunikasi lebih lanjut dengan penulis dapat melalui email [ikhtiyarinr@gmail.com](mailto:ikhtiyarinr@gmail.com).